



TUGAS AKHIR - TK145501

**PABRIK FORMALDEHYDE DARI METANOL DAN
UDARA DENGAN PROSES HALDOR TOPSOE
(*MIXED OXIDE CATALYST*)**

Natijatul Habibah
NRP. 2314 030 077

Umi Rahmawati
NRP. 2314 030 088

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Lily Pudjiastuti, MT.

PROGRAM STUDI DIII TEKNIK KIMIA
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

LEMBAR PENGESAHAN

LAPORAN TUGAS AKHIR DENGAN JUDUL : PABRIK *FORMALDEHYDE* DARI METANOL DAN UDARA DENGAN PROSES HALDOR TOPSOE (*MIXED OXIDE CATALYST*)

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada
Departemen Teknik Kimia Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

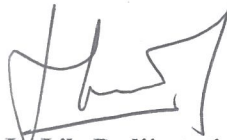
Oleh

Natijatul Habibah
Umi Rahmawati

(NRP 2314 030 077)
(NRP 2314 030 088)

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

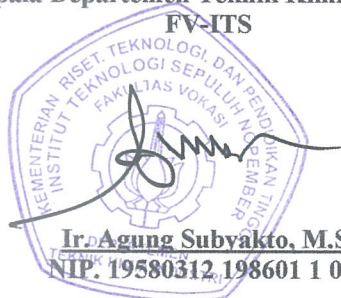
Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Lily Pudjiastuti, MT
NIP. 19580703 198502 2 001

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Kimia Industri
FV-ITS



Ir. Agung Subyakto, M.S.
NIP. 19580312 198601 1 001

SURABAYA, 26 JULI 2017

LEMBAR REVISI

Telah diperiksa dan disetujui sesuai dengan hasil ujian tugas akhir pada tanggal 17 Juli 2017 untuk tugas akhir dengan judul **“PABRIK FORMALDEHYDE DARI METANOL DAN UDARA DENGAN PROSES HALDOR TOPSOE (MIXED OXIDE CATALYST)”**, yang disusun oleh :

Natijatul Habibah
Umi Rahmawati

(NRP 2314 030 077)
(NRP 2314 030 088)

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir :

1. Ir. Agus Surono, MT

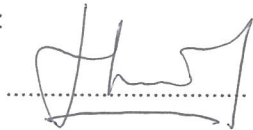


2. Achmad Ferdiansyah PP, ST, MT



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Lily Pudjiastuti, MT



SURABAYA, 26 JULI 2017

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji bagi Allah, Tuhan seru sekalian alam dan tiada satupun yang menyamai-Nya. Shalawat serta salam semoga tetap terlimpahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW beserta keluarganya. Hanya dengan rahmat, taufiq serta hidayah Allah dan juga dorongan yang kuat dari semua pihak, maka penulis dapat menyelesaikan laporan yang berjudul :

PABRIK *FORMALDEHYDE* DARI METANOL DAN UDARA DENGAN PROSES HALDOR TOPSOE (*MIXED OXIDE CATALYST*)

Laporan tugas akhir ini merupakan tahap akhir dari penyusunan tugas akhir yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Ahli Madya (A.Md.) di Departemen Teknik Kimia Industri Fakultas Vokasi ITS.

Terselesaikannya laporan tugas akhir ini tidak lepas dari peran berbagai pihak yang turut memberikan saran, arahan, bimbingan, dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikannya dengan baik dan tepat waktu. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan pertolongan-Nya.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan moril dan materil, doa untuk kesuksesan serta jasa-jasa lain yang terlalu sulit untuk diungkapkan.
3. Bapak Ir. Agung Subyakto, M.S. selaku Kepala Departemen Teknik Kimia Industri Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
4. Ibu Warlinda Eka Triastuti, S.Si. M.T. selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Kimia Industri Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
5. Ibu Dr. Ir. Lily Pudjiastuti, MT. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa memberikan

bimbingan, arahan dan dukungan serta motivasi.

6. Bapak Ir. Agus Surono, MT. dan Bapak Achmad Ferdiansyah PP, ST. MT selaku Dosen Penguji Tugas Akhir.
7. Ibu Ir. Sri Murwanti, MT. dan Ibu Nurlaili Humaidah, ST., MT. Selaku Dosen Wali
8. Segenap dosen, staff dan karyawan Departemen Teknik Kimia Industri Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
9. Rekan-rekan seperjuangan angkatan 2014 (Nitro'14) DIII Teknik Kimia yang senantiasa memberikan motivasi dan selalu menemani di saat suka maupun duka
10. Dan semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungannya baik dari segi moril ataupun materil yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan yang dibuat baik sengaja maupun tidak sengaja dikarenakan keterbatasan ilmu pengetahuan dan wawasan serta pengalaman yang penulis miliki. Untuk itu penulis memohon maaf atas segala kekurangan tersebut, serta penulis mengharapkan saran dan kritik untuk perbaikan di masa mendatang. Akhir kata semoga dapat bermanfaat bagi penulis sendiri, pembaca dan masyarakat luas. Amin

Surabaya, 08 Juli 2016

Penulis

PABRIK FORMALDEHYDE DARI METHANOL DAN UDARA DENGAN MENGUNAKAN PROSES HALDOR TOPSOE (MIXED OXIDE CATALYST)

Nama Mahasiswa : 1. Natijatul Habibah 2314 030 077
2. Umi Rahmawati 2314 030 088
Departemen : Teknik Kimia Industri Fakultas Vokasi ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Lily Pudjiastuti, MT.

ABSTRAK

Formaldehyde merupakan senyawa jadi maupun intermediet yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan konsumen. Formaldehyde banyak digunakan oleh industri tekstil, kulit, dan pewarna. Proses produksi dilakukan menggunakan proses haldor topsoe (mixed oxide catalyst). Pabrik formaldehyde dengan kapasitas 70.000 ton/tahun selama 24 jam/hari akan didirikan dikawasan industri di Bontang, Kalimantan Timur pada tahun 2021 dengan pertimbangan kemudahan akses bahan baku dan distribusi produk. Bahan baku yang digunakan adalah metanol dan udara. Proses produksi formaldehyde dibagi dalam tiga tahap. Tahap pertama yaitu tahap pretreatment bahan baku yang bertujuan untuk mengubah seluruh bahan baku dalam fase uap dan memanaskan hingga suhu persiapan reaktor. Tahap kedua adalah tahap pembentukan produk dengan bahan baku metanol dan udara dengan katalis iron dan molibdenum terjadi pada temperatur 340°C pada reaktor shell and tube dengan perbandingan mol antara metanol dan udara sebesar 1:2,8. Reaksi berlangsung pada fase uap dan bersifat eksotermis sehingga membutuhkan pendingin untuk menjaga kondisi temperature reaktor agar katalis bekerja sempurna. Tahap ketiga adalah tahap pemurnian produk yang bertujuan untuk memisahkan O₂, N₂, CO₂, CO dari absorber dan juga memisahkan larutan formaldehyde dari asam formiat untuk diambil sebagai produk. Pabrik ini direncanakan beroperasi secara kontinyu selama 300 hari/tahun dengan basis 24 jam/hari. Bahan baku metanol yang dibutuhkan sebanyak 2589,03 kg/jam dan udara 7249,28 kg/jam dengan bahan baku pendukung berupa Iron dan Molibdenum sebagai katalisator. Kebutuhan utilitas meliputi air sanitasi sebanyak 43013,38 kg/hari, water make up pendingin sebanyak 250119,86 kg/hari, water umpan boiler sebanyak 152829,36 kg/hari, dan air proses sebanyak 121149 kg/hari.

Kata kunci : *Formaldehyde, Methanol, Iron Catalyst, Molybdenum Catalyst.*

FORMALDEHYDE MANUFACTURER FROM *METHANOL* AND AIR WITH HALDOR TOPSOE'S PROCESS (*MIXED OXIDE CATALYST*)

Name : 1. Natijatul Habibah 2314 030 077
2. Umi Rahmawati 2314 030 088
Departement : Teknik Kimia Industri Fakultas Vokasi ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Lily Pudjiastuti, MT.

ABSTRAK

Formaldehyde is a finished and intermediate compound that can be used in various industrial and consumer applications. Formaldehyde is widely used by the textile, leather, and dye industries. The production process is done using haldor topsoe (mixed oxide catalyst) process. Formaldehyde factory with capacity of 70.000 ton/year for 24 hour/day will be established industrial area in Bontang, East Kalimantan in year 2021 with consideration of easy access of raw material and product distribution. The raw materials used are methanol and air. The production process of formaldehyde is divided into three stages. The first stage is the raw material pretreatment stage which aims to convert all raw materials in the vapor phase and heat up to the reactor preparation temperature. The second stage is the product formation stage with methanol and air raw materials with iron and molybdenum catalysts occurring at 340°C at shell and tube reactors with a mole ratio of methanol and air of 1: 2,8. The reaction takes place in the vapor phase and is exothermic and thus requires a coolant to maintain the reactor temperature conditions for the catalyst to work perfectly. The third stage is the purification step of the product which aims to separate O₂, N₂, CO₂, CO from the absorber and also separates formaldehyde solution from formic acid to As a product. The plant is planned to operate continuously for 300 days/year on a 24 hour/day basis. The methanol raw material required is 2589.03 kg/hour and air is 7249.28 kg/hour with the supporting material in the form of Iron and Molybdenum as catalyst. Utility needs include 43013,38 kg/day water sanitation, 250119,86 kg/day cooling water make up, boiler feed water 152829,36 kg / day, and process water 121149 kg/day.

Kata kunci : *Formaldehyde, Methanol, Iron Catalyst, Molybdenum Catalyst.*

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------|
| HALAMAN JUDUL | |
| LEMBAR PENGESAHAN | |
| LEMBAR PERSETUJUAN | |
| KATA PENGANTAR..... | i |
| ABSTRAK | iii |
| ABSTRACT | iv |
| DAFTAR ISI | v |
| DAFTAR GAMBAR | vii |
| DAFTAR GRAFIK | viii |
| DAFTAR TABEL | ix |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| I.1 Latar Belakang..... | I-1 |
| I.2 Dasar Teori | I-12 |
| I.3 Kegunaan <i>Formaldehyde</i> | I-15 |
| I.4 Sifat Fisika dan Kimia | I-16 |
| BAB II MACAM DAN URAIAN PROSES | |
| II.1 Macam Proses..... | II-1 |
| II.2 Seleksi Proses | II-7 |
| II.3 Uraian Proses Terpilih | II-9 |
| BAB III NERACA MASSA..... | III-1 |
| BAB IV NERACA PANAS | IV-1 |
| BAB V SPESIFIKASI ALAT | V-1 |
| BAB VI UTILITAS | |
| VI.1 Utilitas Secara Umum | VI-1 |
| VI.2 Syarat untuk Kebutuhan Air pada Pabrik <i>Formaldehyde</i> Air Sanitasi | VI-2 |
| VI.3 Tahapan Proses Pengolahan Air pada Pabrik <i>Formaldehyde</i> | VI-4 |
| VI.4 Utilitas pada Pabrik <i>Formaldehyde</i> | VI-6 |
| BAB VII KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA | |
| VII.1 Pendahuluan..... | VII-1 |
| VII.2 Alat Pelindung Diri | VII-5 |
| VII.3 Instalasi Pemadam Kebakaran | VII-8 |

| | |
|---|--------|
| VII.4 Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Area Pabrik <i>Formaldehyde</i> | VII-8 |
| BAB VIII INSTRUMENTASI | |
| VIII.1 Insrumentasi Secara Umum..... | VIII-1 |
| VIII.2 Metode dan Jenis Instrumentasi | VIII-4 |
| VIII.3 Instrumentasi pada Pabrik <i>Formaldehyde</i> | VIII-6 |
| BAB IX PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI KIMIA | IX-1 |
| BAB X KESIMPULAN | X-1 |
| DAFTAR NOTASI | xi |
| DAFTAR PUSTAKA..... | xii |
| LAMPIRAN : | |
| APPENDIX A NERACA MASSA | A-1 |
| APPENDIX B NERACA PANAS | B-1 |
| APPENDIX C SPESIFIKASI ALAT | C-1 |
| Flowsheet Proses Pabrik <i>Formaldehyde</i> | |
| Flowsheet Utilitas Pabrik <i>Formaldehyde</i> | |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|--------------------|--|-------|
| Gambar I.1 | Lokasi Pabrik <i>Formaldehyde</i> di Bontang..... | I-12 |
| Gambar I.2 | <i>Block Diagram</i> Proses BASF | I-13 |
| Gambar I.3 | <i>Block Diagram</i> Proses <i>Recovery Methanol</i> | I-14 |
| Gambar I.4 | <i>Block Diagram</i> Proses Haldor Topsoe | I-15 |
| Gambar II.1 | <i>Flowchart</i> Produksi <i>Formaldehyde</i> dengan Proses BASF | II-2 |
| Gambar II.2 | <i>Flowchart</i> Produksi <i>Formaldehyde</i> dengan Proses <i>Recovery Methanol</i> | II-3 |
| Gambar II.3 | <i>Flowchart</i> Produksi <i>Formaldehyde</i> dengan Proses Haldor Topsoe | II-6 |
| Gambar II.4 | <i>Flowsheet</i> Produksi <i>Formaldehyde</i> dengan Uraian Proses Terpilih (Haldor Topsoe).... | II-12 |

DAFTAR GRAFIK

| | | |
|-------------------|--|------|
| Grafik I.1 | Grafik Impor <i>Formaldehyde</i> | I-10 |
|-------------------|--|------|

DAFTAR TABEL

| | | |
|---------------------|--|--------|
| Tabel I.1 | Data Produksi dan Konsumsi <i>Formaldehyde</i> di Indonesia (Ton/tahun)..... | I-3 |
| Tabel I.2 | Data Ekspor dan Impor <i>Formaldehyde</i> di Indonesia (Ton/tahun)..... | I-4 |
| Tabel I.3 | Data Impor <i>Formaldehyde</i> di Benua Eropa (Ton/tahun)..... | I-4 |
| Tabel I.4 | Data Industri Produsen Metanol Internasional (Ton/tahun)..... | I-6 |
| Tabel I.5 | Data Industri Produsen Metanol Nasional (Ton/tahun)..... | I-6 |
| Tabel I.6 | Data Industri Produsen Katalis <i>Iron Oxide</i> dan <i>Molybdenum Oxide</i> (Ton/tahun) | I-6 |
| Tabel I.7 | Data Industri Produsen <i>Formaldehyde</i> di Indonesia (Ton/tahun) | I-8 |
| Tabel I.8 | Kebutuhan <i>Formaldehyde</i> di Benua Eropa Berdasarkan Data Impor..... | I-9 |
| Tabel I.9 | Sifat Fisik Metanol..... | I-16 |
| Tabel I.10 | Sifat Fisik Udara | I-18 |
| Tabel I.11 | Sifat Fisik Katalis <i>Molybdenum Oxide</i> dan <i>Iron Oxide</i> | I-18 |
| Tabel I.12 | Sifat Fisik <i>Formaldehyde</i> | I-19 |
| Tabel II.1 | Perbedaan Proses <i>Silver Catalyst</i> dan Haldor Topsoe (<i>Mixed Oxide Catalyst</i>)..... | II-7 |
| Tabel VI.1 | Kebutuhan Air Pendingin..... | VI-7 |
| Tabel VI.2 | Kebutuhan Air WHB dan Reaktor | VI-8 |
| Tabel VI.3 | Kebutuhan Air Proses | VI-8 |
| Tabel VI.4 | Kebutuhan Air Tiap Hari..... | VI-10 |
| Tabel VII.1 | Keselamatan dan Kesehatan Kerja di Pabrik <i>Formaldehyde</i> | VII-10 |
| Tabel VIII.1 | Instrumentasi dalam Pabrik <i>Formaldehyde</i> | VII-10 |

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG

Indonesia merupakan negara yang berkembang di segala aspek bidang, salah satunya di bidang industri. Keberhasilan proses industrialisasi pada era perdagangan bebas sekarang ini sangat ditentukan oleh adanya sumber daya alam dan sumber daya manusia yang berkualitas. Sebagai salah satu negara yang memiliki sumber daya alam dan sumber daya manusia yang sangat berlimpah dan berpotensi untuk mengembangkan industri dalam negeri terutama pada industri bahan-bahan kimia. Salah satu industri yang mempunyai persyaratan diatas adalah industri *formaldehyde*.

Seiring dengan penggunaan *formaldehyde* yang terus meningkat di dunia maka pertumbuhan pabrik *formaldehyde* pun meningkat. Menurut badan pusat statistik, pada tahun 2010, 2011, dan 2013 Indonesia tidak mengekspor ke negara lain, namun pada tahun 2012, 2014 dan 2015 ekspor produk *formaldehyde* mengalami fluktuatif tetapi cenderung naik. Sejak tahun 2010 hingga 2015 impor produk *formaldehyde* mengalami penurunan. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa kebutuhan *formaldehyde* di dunia masih fluktuatif tetapi cenderung naik. Menurut Bedino (2004), *formaldehyde* ini bisa digunakan menjadi produk jadi maupun produk intermediet. Sebagai contoh untuk produk intermediet ada pada industri kayu, industri tekstil, *chemical* intermediet dalam pembuatan *pentaerithrytol*, *butanediol*, dan *hexamethylenetetramine*.

Mempertimbangkan kebutuhan *formaldehyde* di dunia yang terus meningkat, maka sangat memungkinkan untuk mendirikan pabrik *formaldehyde* di Indonesia. Pendirian pabrik ini bertujuan untuk memenuhi kebutuhan ekspor di dunia salah satunya adalah Benua Eropa. Selain itu, berdirinya pabrik ini juga mendorong berdirinya pabrik baru untuk menambah lapangan pekerjaan



sehingga menurunkan angka pengangguran, menambah devisa negara, dan membantu memenuhi kebutuhan *formaldehyde*.

I.1.1 Sejarah

Formaldehyde adalah gas tidak berwarna dengan bau yang tajam. Gas *formaldehyde* larut dalam air, alkohol dan pelarut polar lainnya. Sebagai hasil dari struktur yang unik, *formaldehyde* memiliki tingkat reaktivitas kimia yang tinggi dan stabilitas termal yang baik dibandingkan dengan senyawa karbonil lainnya. Bentuk-bentuk komersial formalin termasuk formaldehid/larutan air, polimer, dan turunannya (*Safriet, 1991*).

Formaldehyde sangat dekat kaitannya dengan pengawetan pada zaman dahulu dan sepertinya masih sama sampai sekarang. *Formaldehyde* telah digunakan sejak awal 1899 untuk pengawetan mayat yang sebagian besar ada di era *Wild West*. *Formaldehyde* termasuk bahan kimia yang berbahaya. Sejauh ini tidak ada zat kimia yang digunakan sebagai pengawet mayat kecuali *formaldehyde* (*Bedino, 2004*).

Formaldehyde pertama kali diproduksi di Amerika Serikat pada tahun 1901 terutama digunakan sebagai agen pengawet dan desinfektan. Produksi *formaldehyde* sekarang menjadi sangat besar sebagai bahan kimia yang komersial. *Formaldehyde* tersedia dalam beberapa bentuk yang berbeda untuk memenuhi kebutuhan pengguna tetapi tidak tersedia secara komersial dalam bentuk monomer anhidrat. Dalam larutan yang encer, sering disebut formalin, mengandung 37-50 persen *formaldehyde* berat. Larutan ini mungkin berisi 6 sampai 15 persen stabilizer, biasanya metanol, untuk mencegah polimerisasi. Larutan *formaldehyde* dalam alkohol yang tersedia untuk proses yang membutuhkan alkohol tinggi/kadar air rendah. Larutan ini disebut *Formcels*, tersusun dari metanol, n-propanol, n-butanol, atau isobutanol. *Formaldehyde* juga tersedia dalam bentuk polimernya trioksan dan *paraformaldehyde*. Saat ini, 13 produsen *formaldehyde* di Amerika Serikat beroperasi di 48 lokasi. Sebagian besar *formaldehyde* dihasilkan adalah dikonsumsi dalam penggunaan di lokasi pabrik produsen (*Safriet, 1991*).



Sejak tahun 1990, banyak penelitian yang telah dilakukan tentang efek kesehatan dan bahaya paparan *formaldehyde*. *Formaldehyde* aman digunakan apabila dipakai dalam jumlah yang sedikit, bisa juga ditambahkan dengan bahan kimia yang lainnya (Bedino, 2004).

Teknologi pembuatan *formaldehyde* yang berkembang dewasa ini dapat dibedakan menjadi dua proses yaitu dehidrogenasi katalitik dan oksidasi langsung metanol menggunakan katalis Ag (perak) dan katalis $\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$ (besi molibdenum oksida, Fe/Mo/O). Proses berbasis katalis Fe/Mo/O mempunyai keuntungan dibandingkan proses berkatalis perak. Kelebihan proses Fe/Mo/O, selain konversi reaksi >99%, reaksi ini dilangsungkan pada kondisi lebih rendah (330 – 380°C), sementara proses perak memberikan konversi antara 85-95%, reaksi dilangsungkan pada 600-650°C. Melihat keuntungan penggunaan proses produksi *formaldehyde* berbasis katalis Fe/Mo di atas maka tak heran apabila banyak penelitian tentang *formaldehyde* diarahkan ke proses ini (Hasfita, 2013).

1.1.2 Alasan Pendirian Pabrik

Formaldehyde merupakan bahan kimia yang digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan konsumen. *Formaldehyde* digunakan oleh industri kayu, industri tekstil, *chemical intermediat* dalam pembuatan *pentaerithrytol*, *hexamethyl enetetramine*, dan *butanediol*. Kebutuhan *formaldehyde* di Indonesia dapat dilihat pada **Tabel 1.1** dan **Tabel 1.2** data produksi, konsumsi, ekspor dan impor di Indonesia yaitu sebagai berikut :

Tabel 1.1 Data Produksi dan Konsumsi *Formaldehyde* di Indonesia (Ton/Tahun)

| No. | Tahun | Produksi (Ton/Tahun) | Konsumsi (Ton/Tahun) |
|-----|-------|-------------------------|-------------------------|
| 1. | 2009 | 122.246,372 | 122.324,740 |
| 2. | 2010 | 116.701,646 | 117.146,723 |



| | | | |
|----|------|------------|------------|
| 3. | 2011 | 87.981,247 | 88.210,478 |
| 4. | 2012 | 74.181,048 | 74.246,708 |
| 5. | 2013 | 44.903,650 | 44.946,968 |

(Sumber : Badan Pusat Statistik, 2016)

Tabel 1.2 Data Ekspor dan Impor *Formaldehyde* di Indonesia (Ton/Tahun)

| No. | Tahun | Kebutuhan (Ton/Tahun) | |
|-----|-------|-----------------------|---------|
| | | Ekspor | Impor |
| 1. | 2010 | 0 | 445,077 |
| 2. | 2011 | 0 | 229,231 |
| 3. | 2012 | 17,6 | 83,260 |
| 4. | 2013 | 0 | 43,318 |
| 5. | 2014 | 149,4 | 3,292 |
| 6. | 2015 | 55,8 | 0,015 |

(Sumber : Badan Pusat Statistik, 2016)

Produk *formaldehyde* di Indonesia dari tahun 2010 hingga tahun 2015 dapat dilihat pada tabel diatas, untuk impor *formaldehyde* di Indonesia dari tahun 2010 sampai dengan tahun 2015 mengalami penurunan. Ekspor *formaldehyde* di Indonesia dari tahun 2010 sampai dengan tahun 2015 mengalami fluktuatif namun cenderung mengalami peningkatan setiap tahunnya. Oleh karena itu, untuk ekspor *formaldehyde* di Indonesia diperkirakan lebih banyak lagi karena produk *formaldehyde* banyak dibutuhkan di Negara lain, misalnya Benua Eropa, yaitu Negara Belgia, Perancis, German, Slovenia, dan Polandia. Data impor Benua Eropa dapat dilihat pada **Tabel 1.3** :

Tabel 1.3 Data Impor *Formaldehyde* di Benua Eropa

| Tahun | Belgia (Ton/ Tahun) | Perancis (Ton/ Tahun) | German (Ton/ Tahun) | Slovenia (Ton/ Tahun) | Polandia (Ton/ Tahun) |
|-------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 2005 | 30.851,994 | 44.540,3 | 136.796,4 | 22.862,751 | 2.820,103 |



BAB I Pendahuluan

| | | | | | |
|------|------------|----------|-------------|------------|------------|
| 2006 | 35.081,164 | 62.019,7 | 206.990,91 | 29.714,794 | 7.334,412 |
| 2007 | 49.401,808 | 72.433,6 | 240.671,3 | 29.008,847 | 12.164,651 |
| 2008 | 44.500,13 | 56.087,1 | 255.700,362 | 27.134,334 | 13.569,581 |
| 2009 | 19.111,788 | 38.079,5 | 224.235,463 | 10.797,568 | 12.307,027 |
| 2010 | 26.869,332 | 37.289,7 | 222.594,3 | 12.586,649 | 17.225,909 |
| 2011 | 32.657,449 | 35.588,2 | 249.444,159 | 22.180,958 | 22.843,318 |

(Sumber : Index Mundi, 2015)

Dari data diatas menunjukkan bahwa kebutuhan *formaldehyde* di Luar Negeri khususnya di Benua Eropa mengalami fluktuatif namun cenderung mengalami peningkatan untuk setiap tahunnya. Hal ini telah diketahui bahwa negara lain lebih banyak membutuhkan *formaldehyde* daripada Indonesia. Negara tersebut untuk memenuhi kebutuhan *formaldehyde* melakukan impor, salah satunya dari Indonesia. Dengan pertimbangan diatas maka direncanakan pendirian pabrik *formaldehyde* baru di Indonesia untuk memenuhi kebutuhan konsumsi dan industri. Pendirian pabrik ini untuk *supplay* ke negara lain guna penambahan devisa dalam negeri dan diharapkan dapat membuka lapangan pekerjaan baru guna mengurangi pengangguran manusia di Indonesia, serta dapat meningkatkan kuantitas dan kualitas produksi Indonesia di Internasional.

I.1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Semakin besarnya akan kebutuhan bahan kimia *formaldehyde*, maka kebutuhan akan bahan baku *formaldehyde* pun semakin meningkat. Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan *formaldehyde* yaitu *methanol*. Bahan baku *Methanol* dapat diperoleh dari dalam negeri maupun dari luar negeri.



Berikut merupakan data perusahaan pemasok bahan baku utama (*methanol*) di dunia.

Tabel 1.4 Data Industri Produsen *Methanol* Internasional

| Nama Industri | Lokasi | Kapasitas (Ton/Tahun) |
|---|-----------|-----------------------|
| <i>Ambior Chemicals PTE. LTD</i> | Singapore | 600.000 |
| <i>Centuria International</i> | Singapore | 480.000 |
| <i>Tianjin Bohua Yongli Chemical Industry</i> | China | 500.000 |

Sedangkan industri penghasil *methanol* di Indonesia adalah sebagai berikut :

Tabel 1.5 Data Industri Produsen *Methanol* Nasional

| Nama Industri | Lokasi | Kapasitas (Ton/Tahun) |
|-------------------------------------|---------|-----------------------|
| <i>PT. Kaltym Methanol Industry</i> | Bontang | 660.000 |

Untuk bahan pendukung dalam pembuatan *Formaldehyde* yaitu katalis *Iron Oxide* dan *Molibdenum Oxide*, mengingat bahan pendukung tersebut tidak ada di Indonesia sehingga dapat mengimpor dari luar negeri. Berikut adalah negara yang memproduksi dan mengekspor katalis *Iron Oxide* dan *Molibdenum Oxide* di Dunia :

Tabel 1.6 Data Industri Produsen Katalis *Iron Oxide* dan *Molibdenum Oxide*

| Bahan Pendukung | Nama Industri | Lokasi | Kapasitas (Ton/Tahun) |
|-------------------|--|--------|-----------------------|
| <i>Iron Oxide</i> | 1. <i>Guangzhou Yaqin Crown Trade Co</i> | China | 72.000 |
| | 2. <i>Zhengzhou Clean Chemical Co</i> | China | 72.000 |
| | 3. <i>Xingyang Chemical Co</i> | China | 60.000 |



| | | | |
|------------------|--|--------|--------|
| Molibdenum Oxide | 1. Hefei Nasco Chemical Co | China | 15.000 |
| | 2. Shanghai Hungsun Chemical Co | China | 6.800 |
| | 3. Beijing Shunyuan Wangda Trade Co | China | 6.000 |
| | 4. Changsha Langfeng Metallic Material Ltd | China | 2.400 |
| | 5. Piangxiang Xingfeng Chemical packing Co | China | 2.400 |
| | 6. GT Tladi General Trading and Projects | Afrika | 4.800 |

Dari data yang diperoleh diatas dapat dipastikan bahwa ketersediaan bahan baku maupun bahan pendukung dapat terpenuhi sehingga mampu menunjang keberlanjutan pabrik *formaldehyde* yang akan didirikan.

I.1.4 Kebutuhan da Aspek Pasar

Menurut Safriet (1991), *formaldehyde* digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan konsumen. Banyak dari *formaldehyde* digunakan oleh industri tekstil, kulit, dan pewarna. Karena bobotnya yang lebih ringan dan biaya pengiriman yang lebih rendah, banyak paraformaldehida yang digunakan dalam aplikasi industri di pabrik yang terletak pada jarak jauh dari produsen *formaldehyde*. *Formaldehyde* digunakan sebagai reaktan dalam berbagai proses komersial untuk mensintesis berbagai macam produk.

Menurut Othmer (1997), *formaldehyde* dapat digunakan untuk industri-industri kimia, seperti:

1. Amino dan *Phenolic Resins*

Penggunaan terbesar *formaldehyde* digunakan pada industri *urea-formaldehyde*, *phenol-formaldehyde*, dan resin *melamine-formaldehyde* sebesar 51%.

2. 1,4-Butanediol

Dibuat dari *formaldehyde* dan *acetylene*. Untuk pemakaian *formaldehyde* dipresentasikan sebesar 11%.



3. *Acetal Resin* (sebanyak 9%).
4. *Slow-Release Fertilizers* (sebanyak 6%).
5. *Methylenebis* (sebanyak 5%).
6. *Chelating Agent* (sebanyak 3%).
7. *Hexamethylenetetramine* (sebanyak 6%).

Selain itu, industri *formaldehyde* yang akan kami dirikan ini dapat memenuhi permintaan pasar nasional dan internasional sehingga bisa membantu menstabilkan keuangan negara melalui komoditi ekspor.

1.1.5 Kapasitas Produksi

Dalam penentuan kapasitas produksi pabrik *formaldehyde* di Indonesia juga harus mempertimbangkan kapasitas produksi *formaldehyde* pada industri produsen *formaldehyde* di Indonesia sebagai dasar penentuan kapasitas produksi minimal pabrik *formaldehyde* di Indonesia. Salah satu industri produsen *formaldehyde* yang terdapat di Indonesia dapat ditunjukkan pada tabel berikut

Tabel 1.7 Data Industri Produsen *Formaldehyde* di Indonesia

| Nama Industri | Kapasitas (Ton/Tahun) |
|------------------------|--------------------------|
| PT. Arjuna Utama Kimia | 23.000 |
| PT. Intan Wijaya | 132.000 |

Berikut adalah beberapa faktor penting dalam perhitungan kapasitas pabrik yaitu:

1. Ketersediaan bahan baku
2. Kapasitas produksi minimal
3. Jumlah kebutuhan atau konsumsi *formaldehyde* di Indonesia

Untuk memenuhi kebutuhan *formaldehyde* di Internasional selama ini, kekurangannya dipenuhi oleh ekspor dari Indonesia. Salah satu benua yang membutuhkan *formaldehyde* adalah Benua



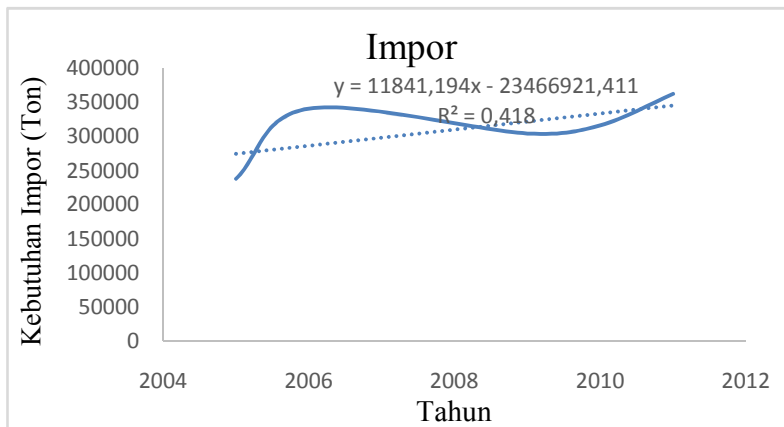
Eropa, misalnya Negara Belgia, Perancis, German, Slovenia, dan Polandia. Kebutuhan *formaldehyde* di Benua Eropa berdasarkan data impor ditunjukkan pada **Tabel 1.8**:

Tabel 1.8 Kebutuhan *Formaldehyde* di Benua Eropa Berdasarkan Data Impor

| No. | Tahun | Kapasitas (Ton) |
|-----|-------|-----------------|
| 1. | 2005 | 237.871,548 |
| 2. | 2006 | 341.140,980 |
| 3. | 2007 | 403.680,206 |
| 4. | 2008 | 396.991,507 |
| 5. | 2009 | 304.531,346 |
| 6. | 2010 | 316.565,890 |
| 7. | 2011 | 362.714,084 |

(Sumber : Index Mundi, 2015)

Untuk memenuhi kebutuhan *formaldehyde* di Benua Eropa selama ini dipenuhi oleh impor. Kebutuhan *formaldehyde* di Benua Eropa ditunjukkan pada tabel diatas. Dari data tersebut didapatkan kurva grafik yang menunjukkan jumlah *formaldehyde* mengalami fluktuatif namun cenderung mengalami peningkatan. Kurva jumlah impor *formaldehyde* di Benua Eropa ditunjukkan pada **Grafik 1.1** dibawah ini:



Grafik 1.1 Grafik Impor *Formaldehyde*

Dari **Grafik 1.1** didapatkan persamaan regresi linier untuk memprediksi jumlah ekspor Indonesia untuk memenuhi kebutuhan *formaldehyde* di Negara lain tahun 2021 :

$$\begin{aligned} y &= 11.841,194 x - 23.466.921,411 \\ &= 11.841,194 (2021) - 23.466.921,411 \\ &= 464.131,63 \text{ ton} \end{aligned}$$

Dari prediksi ekspor tahun 2021 tersebut, pabrik yang didirikan direncanakan dapat memenuhi jumlah ekspor yaitu sejumlah 15% dari jumlah ekspor tersebut yaitu sejumlah 70.000 ton.

I.1.6 Pemilihan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pendirian pabrik merupakan salah satu faktor utama yang menentukan kelangsungan suatu pabrik untuk beroperasi jangka panjang. Pabrik *formaldehyde* ini direncanakan didirikan di Bontang, Kalimantan Timur. Adapun dasar pertimbangan pemilihan lokasi tersebut dijelaskan sebagai berikut:



1. Ditinjau dari lokasi ketersediaan sumber bahan baku

Ketersediaan bahan baku merupakan salah satu variabel yang penting dalam pemilihan lokasi pabrik. Untuk menekan biaya penyediaan bahan baku, maka pabrik didirikan berdekatan dengan pabrik yang memproduksi bahan baku *methanol* yaitu terdapat di PT. Kaltim Methanol Industri yang berlokasi di Bontang, Kalimantan Timur. Dikarenakan bahan baku yang berasal dari PT. Kaltim Methanol Industri tidak memenuhi, maka untuk memperoleh bahan baku melakukan impor. Selain itu, untuk memperoleh bahan penunjang *iron oxide* dan *molibdenum oxide* juga dilakukan dengan impor. Pemilihan Bontang, Kalimantan Timur sebagai lokasi pabrik juga dikarenakan cukup dekat dengan pelabuhan Radja Bontang sehingga dapat mempermudah dalam transportasi bahan baku dan juga bahan penunjang.

2. Pemasaran Produk

Kota Bontang memiliki 3 pelabuhan. Letak kota ini yang strategis sangat memudahkan untuk komoditi ekspor maupun pemerataan hasil produksi ke seluruh pabrik di Indonesia yang membutuhkan *formaldehyde*. Selain itu konsumen bahan kimia ini sebagian besar tersebar di daerah Kalimantan, sehingga biaya transportasi yang dibutuhkan akan lebih sedikit.

3. Tenaga Kerja

Tenaga kerja merupakan pelaku dari proses produksi. Ketersediaan tenaga kerja yang terampil dan terdidik akan berbanding lurus dengan kemajuan produksi pabrik untuk tenaga kerja ahli dan berkualitas dapat mengambil dari lulusan Universitas/Institut di seluruh Indonesia. Untuk tenaga kerja non ahli (operator) dapat mengambil dari non formal (dari daerah sekitar) sehingga tenaga kerja mudah didapatkan.

4. Lingkungan

Lokasi pabrik dipilih pada daerah khusus untuk kawasan industri, sehingga akan memudahkan dalam perijinan pendirian pabrik.

5. Ketersediaan Lahan



Faktor ini berkaitan dengan rencana pengembangan pabrik mendatang.



Gambar 1.1 Lokasi Pabrik *Formaldehyde* di Bontang

I.2 DASAR TEORI

1.2.1 *Formldehyde*

Formaldehyde, $\text{H}_2\text{C}=\text{O}$, adalah suatu molekul reaktif yang pertama dalam rangkaian aldehida alifatik dan salah satu bahan kimia industri yang paling penting. Pada tahun 1983 berada di peringkat ke-26 yang diproduksi di Amerika Serikat dengan output 5,4 miliar lb setara dengan 37 wt% larutan. Produk dari *formaldehyde* dapat digunakan secara ekstensif dalam industri mobil, konstruksi, kertas dan industri tekstil (McKetta, 1983).

Formaldehida adalah salah satu bahan kimia industri yang paling banyak digunakan. Lebih dari 50 persen dari formaldehida yang dihasilkan digunakan dalam pembuatan resin seperti resin urea-formaldehida, resin fenol-formaldehida, resin asetal, dan resin melamin-formaldehida. Kegunaan penting lainnya formaldehida termasuk sintesis *heksametenatetramina*; *pentaeritritol*; 1,4-butanadiol dan bahan kimia *acetylenic* lainnya, agen *chelating*, konsentrat urea-formaldehida, trimetilol propana, 4,4-methylenedianiline, ester akrilik, senyawa piridin, dan nitroparaffins. *Formaldehyde* juga digunakan dalam tekstil



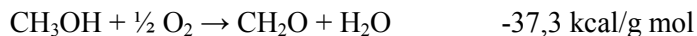
mengobati aplikasi, pewarna, desinfektan, dan pengawet (*Safriet, 1991*).

Formaldehid diproduksi di Amerika Serikat dengan dua proses. Dalam proses yang dominan, metanol terdehidrogenasi dan teroksidasi dengan adanya katalis perak untuk menghasilkan formaldehida, hidrogen, dan air. Dalam proses lainnya, formaldehida dan air yang terbentuk oleh oksidasi metanol dengan adanya katalis oksida logam (*Safriet, 1991*).

1.2.2 Proses Produksi *Formaldehyde*

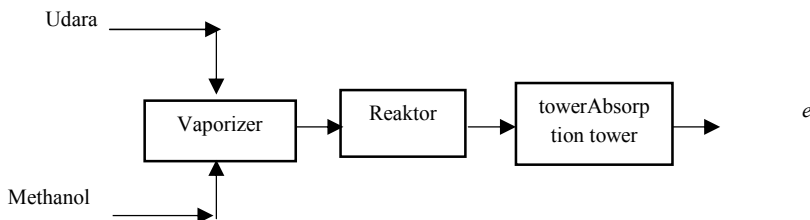
Dalam produksi formaldehida terdapat beberapa macam jenis proses produksi. Berikut beberapa jenis proses produksi yang digunakan dalam memproduksi *formaldehyde*:

a. Proses Katalis Perak (*Silver Catalyst*)



Proses ini menggunakan katalis perak dengan reaktor *fixedbed multitube*. Dalam industri produk *formaldehyde* berbahan baku metanol dengan mudah dioksidasi melalui katalis tembaga, namun saat ini hampir semuanya telah diganti oleh katalis perak dengan umur sekitar 3-8 bulan. Reaksi dengan katalis perak (*silver catalyst*) terjadi pada tekanan yang lebih besar dari atmosfer. Pada proses ini menggunakan reaktor bertipe *fixed bed multitube* (*Cheng, 1994*).

- Konversi metanol sempurna (proses BASF)

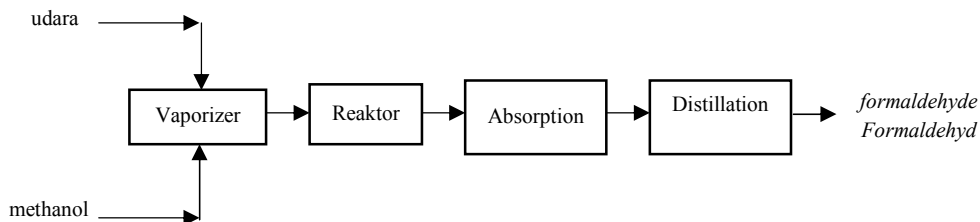


Gambar 1.2 Block Diagram Proses BASF



Pada mode konversi metanol sempurna, konversi metanol adalah 97-98% dengan *yield* 89,5-90,5 % mol. Suhu operasi yang digunakan pada proses ini lebih besar daripada proses konversi tidak sempurna, yakni 680-720°C. Pada operasi mode konversi sempurna, unit absorpsi terdiri dari kolom absorpsi *multiple* dengan *recycle* larutan *formaldehyde* pada setiap *stage*. Produk akhir dari larutan sekitar 50-55 wt % *formaldehyde*, dapat diperoleh *stage* pertama jika *off-gas* dikembalikan untuk mengurangi penggunaan air pada umpan, sebaiknya larutan 40-44wt % *formaldehyde* dibentuk (Cheng, 1994).

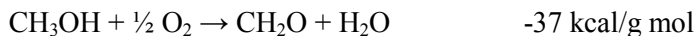
- Konversi metanol tidak sempurna (*recovery methanol*)

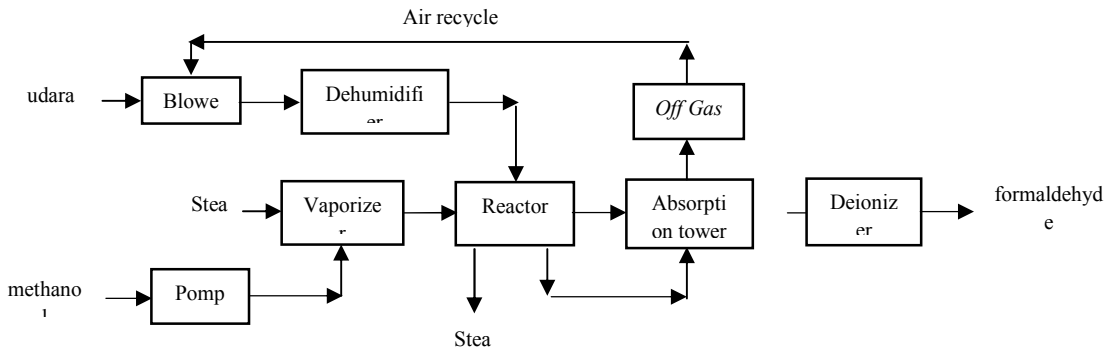


Gambar 1.3 Block Diagram Proses Recovery Methanol

Suhu operasi yang digunakan pada proses konversi tidak sempurna, yakni 600-650°C. Pada mode konversi tidak sempurna, campuran masuk ke unit absorpsi adalah 42 wt% *formaldehyde* dan termasuk metanol. Yang terpenting dari metanol, *formaldehyde* dan air keluar dari unit pertama. Campurannya adalah umpan yang masuk kolom distilasi, yang mana produk bawahnya mengandung 55 wt % *formaldehyde* dan kurang dari 1 wt % diperoleh metanol (Cheng, 1994).

- b. Proses *Haldor Topsoe*/Katalis Campuran Oksida (*Mixed Oxyde Catalyst*)





Gambar 1.4 Block Diagram Proses Haldor Topsoe (*Mixed Oxide Catalyst*)

Reaksi haldor topsoe (*mixed oxide catalyst*) berisi *molybdenum* oksida dan besi oksida dengan rasio 1,5:3. Temperatur reaksi lebih rendah dibanding dengan proses *silver catalyst* (550-1100°F) dan tekanan reaksinya kira-kira sama (diatas tekanan atmosfer). *Excess* udara yang digunakan untuk menentukan konversi dan untuk menghindari ledakan di sekitar metanol (6,7 sampai 36,5 vol % dalam udara). *Catalyst* berbentuk granular atau *spherical* yaitu Fe/Mo dan karakteristik umurnya seperti umur selama periode (12-15 bulan) temperaturnya harus naik sekitar 450 sampai 550°F. Untuk partikel metanol konversinya 98,4% dan *yield* keseluruhan *plantformaldehyde* 94,4% (Mc Ketta, 1983).

1.1 KEGUNAAN

Menurut Bedino (2004), produksi *formaldehyde* dapat digunakan di berbagai industri, yakni:

1. Formalin di industri kayu sebagai urea-formaldehida, fenol-formaldehida dan perekat melamin-formaldehida, resin dan pengaku.



2. Digunakan sebagai perantara kimia (contohnya: pentaeritritol, heksametilenatetramina, butanediol) untuk memproduksi bahan kimia lain perdagangan
3. Digunakan dalam resin termoplastik khusus.
4. Di industri tekstil/pakaian sebagai pemutih/finisher/pengaku untuk kemeja dan item lainnya dari pakaian dan aditif untuk kerut-perlawanan dan kerenyahan penampilan.
5. Digunakan sebagai pengawet aditif (biasanya sebagai diderivatisasi releaser kimia) dalam sabun, lotion, sampo, dll.

Menurut Safriet (1991), *formaldehyde* digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan konsumen. Banyak dari *formaldehyde* digunakan oleh industri tekstil, kulit, dan pewarna. Karena bobotnya yang lebih ringan dan biaya pengiriman yang lebih rendah, banyak paraformaldehida yang digunakan dalam aplikasi industri di pabrik yang terletak pada jarak jauh dari produsen formaldehida. Formaldehida digunakan sebagai reaktan dalam berbagai proses komersial untuk mensintesis berbagai macam produk.

I.4 Sifat Fisika Dan Kimia

1.4.1 Bahan Baku Utama

A. *Methanol*

Sifat Fisik

Sifat fisik yang dimiliki oleh *methanol* sebagai bahan baku ditunjukkan pada **Tabel 1.9**:

Tabel 1.9 Sifat Fisik *Methanol*

| No. | Sifat | Nilai |
|-----|------------------------|------------------------|
| 1. | Wujud | <i>Liquid</i> |
| 2. | Bentuk | Jernih, tidak berwarna |
| 3. | Bau | Sedikit berbau alkohol |
| 4. | Titik didih (760 mmHg) | 64,5°C |
| 5. | Flash point | 11°C |
| 6. | Tekanan uap | 12,8 kPa |
| 7. | Densitas uap | 1,11 kg/m ³ |



| No. | Sifat | Nilai |
|-----|---------------------------------|---|
| 8. | Viskositas | 0,55 cP |
| 9. | Titik leleh | -98°C |
| 10. | Temperatur <i>auto ignition</i> | 385 °C |
| 11. | <i>Specific gravity</i> | 166 g/m ³ |
| 12. | Larut dalam | Udara, <i>ethanol</i> , <i>ether</i> , <i>acetone</i> , dan <i>chloroform</i> |

(Sumber : MSDS Methanol)

Sifat Kimia

1. Metanol adalah gugus alkohol alifatik yang paling sederhana. Reaktivitasnya ditentukan oleh gugus hidroksil. Reaksi dengan metanol terjadi melalui pecahnya ikatan C-O atau ikatan O-H dan bercirikan reaksi substitusi gugus -H dan -OH
2. Reaksi metanol yang terjadi:
 - a. Dehidrogenasi dan dehidrogenasi oksidatif dengan katalis *silver/molybdenum* oksida membentuk formaldehid

$$\text{CH}_3\text{OH} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$$
 - b. Karbonilasi dengan katalis *kobalt/rhodium* membentuk asam asetat

$$\text{CH}_3\text{OH} + \text{CO} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH}$$
 - c. Dehidrasi dengan katalis asam membentuk *dimethyl ether* dan air

$$\text{CH}_3\text{OH} \leftrightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$$

(Sumber : MSDS Methanol)

B. Udara

Sifat Fisik

Udara terdiri dari campuran utama gas N₂ dan O₂ dengan komposisi 79% N₂ dan 21% O₂:

**Tabel 1.10** Sifat Fisik Udara

| No. | Sifat Fisis | N ₂ | O ₂ |
|-----|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1. | Bau | Tidak Berbau | Tidak Berbau |
| 2. | Wujud | Gas tidak berwarna | Gas tidak berwarna |
| 3. | <i>Specific gravity</i> | 12,5 | 1,1053 |
| 4. | Titik leleh (P : 1 atm) | -210,01 °C | -219 °C |
| 5. | Titik didih (P : 1 atm) | -196 °C | -183 °C |
| 6. | Relatif densitas | 0,8 kg/m ³ | 1,1 kg/m ³ |
| 7. | Suhu kritis | -147 °C | -118,6 °C |
| 8. | Tekanan kritis | 34 Bar | 50,4 Bar |
| 9. | Berat Molekul | 28 | 32 |

(Sumber : MSDS N₂ 79% dan O₂ 21%)

Sifat Kimia

1. Oksigen bereaksi dengan semua elemen lain kecuali He, Ne, Ar.
2. Untuk beberapa bahan yang akan direaksikan dengan oksigen harus dipanaskan terlebih dahulu sampai suhu tertentu pada pembakaran awal.
3. Merupakan reagen penghidrolisa pada proses hidrolisa.

(Sumber : MSDS N₂ 79% dan O₂ 21%)

1.4.2 Bahan Baku Pendukung

Bahan pendukung yang diperlukan untuk pembuatan *formaldehyde* adalah katalis *Molybdenum oxide* dan *Iron oxide* dapat dilihat pada **Tabel 1.11**:

Tabel 1.11 Sifat Fisik Katalis *Molybdenum Oxide* dan *Iron Oxide*

| No. | Sifat | <i>Molybdenum Oxide</i> | <i>Iron Oxide</i> |
|-----|-------|-------------------------|--|
| 1. | Wujud | Padat | Padat |
| 2. | Warna | Biru dan kuning | Kuning, Orange, merah, Coklat atau Hitam |



BAB I Pendahuluan

| No. | Sifat | <i>Molybdenum Oxide</i> | <i>Iron Oxide</i> |
|-----|-----------|------------------------------|--|
| 3. | Bau | Tidak berbau | Tidak berbau |
| 4. | Densitas | 4,69 gr/cm ³ | <ul style="list-style-type: none"> 4,10 g/cm³ (kuning) 4,90 g/cm³ (merah) 4,60 g/cm³ (hitam) |
| 5. | Kelarutan | 0,1066 gr/100 ml (pada 18°C) | Tidak larut dalam air |

(Sumber : MSDS *Molybdenum oxide* dan *Iron oxide*)

1.4.3 Produk

1.4.3.1 Produk Utama (*Formaldehyde*)

Sifat Fisik

Produk utama yang dihasilkan dari *methanol* dan udara yaitu *formaldehyde*

Tabel 1.12 Sifat Fisik Produk Utama (*formaldehyde*)

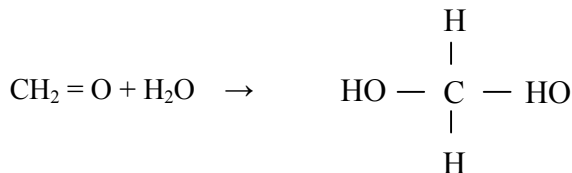
| Sifat | Nilai |
|----------------------|---|
| Bentuk | <i>Liquid</i> |
| <i>Boiling Point</i> | 98°C |
| <i>Melting Point</i> | -15°C |
| Berat Jenis | 1,08 |
| Temperatur Uap | 2,4 kPa @20°C |
| Densitas Uap | 1,03 |
| Kelarutan | Mudah larut pada air dingin, dietil eter, aseton, alcohol |

(Sumber : MSDS *Formaldehyde*)

Sifat Kimia

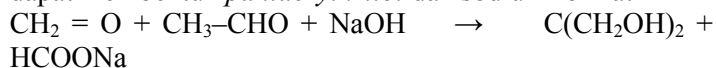
a. Reaksi dengan air

Formaldehyde dengan air dapat membentuk *methylen glikol*



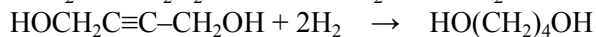
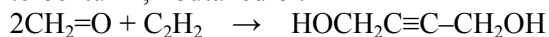
b. Reaksi dengan *acetaldehyde*

Formaldehyde dengan *acetaldehyde* dalam larutan NaOH dapat membentuk *pantaerythritol* dan sodium format



c. Reaksi dengan asetilen

Asetilen akan bereaksi dengan *formaldehyde* akan membentuk *2-butyne-1,4-diol*. Ketika terhidrogenasi akan terbentuk *1,4-butanediol*.



(Sumber : MSDS *Formaldehyde*)

BAB II MACAM DAN URAIAN PROSES

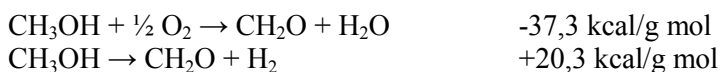
II.1 MACAM PROSES

Menurut Safriet (1991), *formaldehyde* adalah gas tidak berwarna dengan bau yang tajam. Gas *formaldehyde* larut dalam air, alkohol dan pelarut polar lainnya. Sebagai hasil dari struktur yang unik, *formaldehyde* memiliki tingkat reaktivitas kimia yang tinggi dan stabilitas termal yang baik dibandingkan dengan senyawa karbonil lainnya. Bentuk-bentuk komersial formalin termasuk formaldehid/larutan air, polimer, dan turunannya.

Pada proses pembuatan *formaldehyde* dibagi menjadi 2 proses, yaitu Katalis Perak (*Silver Catalyst*) dan Haldor Topsoe (*Mixed Oxide Catalyst*).

II.1.1 Proses Katalis Perak (*Silver Catalyst*)

Menurut Cheng (1994), dalam industri produk *formaldehyde* berbahan baku metanol dengan mudah dioksidasi melalui katalis tembaga, namun saat ini hampir semuanya telah diganti oleh katalis perak dengan umur sekitar 3-8 bulan. Reaksi dengan katalis perak (*silver catalyst*) terjadi pada tekanan yang lebih besar dari atmosfer. Hal ini dapat dinyatakan oleh reaksi secara simultan :



Proses *silver catalyst* dapat dibagi menjadi 2 yakni metode konversi metanol sempurna (proses BASF) dan konversi metanol tidak sempurna (*recovery methanol*).

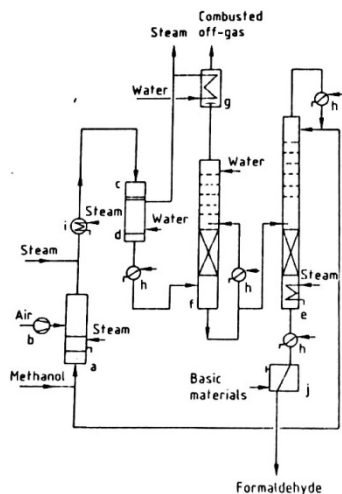
a. Konversi Metanol Sempurna (Proses BASF)

Dalam campuran metanol dan udara untuk umpan masuk ke kolom *vaporizer*. Udara dan jika memungkinkan, *recycled off gas* dari *stage* terakhir kolom absorpsi dimasukkan ke dalam kolom pemisah. Campuran dari gas



b. Konversi Metanol Tidak Sempurna (*Recovery Methanol*)

Pada mode konversi metanol tidak sempurna, konversi metanol adalah 77-78% dengan *yield* 91-92 % mol. Suhu operasi yang digunakan pada proses konversi tidak sempurna, yakni 600-650°C. Pada mode konversi tidak sempurna, campuran masuk ke unit absorpsi adalah 42 wt% *formaldehyde* dan termasuk metanol. Yang terpenting dari metanol, *formaldehyde* dan air keluar dari unit pertama. Campurannya adalah umpan yang masuk kolom distilasi, yang mana produk bawahnya mengandung 55 wt % *formaldehyde* dan kurang dari 1 wt % diperoleh metanol. Kandungan asam formiat di produk bagian bawah dikurangi dengan menggunakan unit *anion-exchange*. Metanol di produk bagian atas dikembalikan dan dicampur dengan umpan yang baru. *Off gas* dari unit absorpsi dibakar untuk menghilangkan residu metanol dan macam-macam zat organik lainnya. Bagian dari itu dikembalikan ke reaktor sebagai diluent *inert* (Cheng, 1994).



Gambar 2.2 Flowchart Produksi *Formaldehyde* dengan Proses *Recovery*



Metanol yang akan masuk kedalam *vaporizer* harus bebas dari karbonil besi dan senyawa sulfur (racun katalis), dikombinasikan dengan *recycle* metanol dan dipompa melalui *vaporizer steam-heated vaporizer*. Udara ditarik melalui filter dan dikompres dalam blower sebagai *feed* untuk proses. Air washer adalah alat pencuci udara untuk menghilangkan katalis yang mungkin mengandung racun, dan sementara air biasanya untuk cairan *scrubbing*, saat *scrubbing* larutan *caustic* kadang-kadang diperlukan (McKetta, 1983).

Converter terdiri dari *feed* distribusi, *catalyst bed* dan boiler limbah panas. Katalis yang digunakan adalah katalis perak (*silver catalyst*) atau kasa dan *catalyst bed* biasanya mempunyai panjang 0,5 sampai 10 in dan dengan diameter 6-7 ft. Kecepatan permukaan metanol yang masuk berada dalam kisaran 200-450 lb/h.ft² dari luas penampang. Untuk menghindari reaksi samping yang tidak diinginkan, maka perlu untuk menghilangkan campuran produk reaksi dalam waktu kurang dari sekitar 0,02 detik (McKetta, 1983).

Pendinginan dilakukan secara langsung dalam *shell and tube heat exchanger* dimana reaksi eksotermis digunakan untuk menghasilkan *steam*. Biasanya, pada boiler katalis yang terkandung berada dalam tabung bagian atas dan gas mengalir ke bawah melalui tabung. Gas-gas ini kemudian masuk ke absorber dimana *formaldehyde* dan metanol diperoleh cairan pada *bottom* (McKetta, 1983).

Absorber biasanya terdiri dari dua bagian absorpsi/*cooling* dengan sirkulasi *liquid*. Material terkondensasi dari bagian sirkulasi mengalir ke atas melalui zona pengontakan air untuk penyerapan lebih lanjut dan akhirnya meninggalkan bagian atas kolom dan mengalir ke perangkat yang sesuai untuk menghapus zat organik sisa dan karbon monoksida. Hasil keluaran absorpsi berupa *fuel gas* yang memiliki nilai panas, biasanya digunakan untuk pembangkit *steam boiler* (McKetta, 1983).

Aliran *bottom* absorber dipompa dimana metanol ada di *overhead* dan larutan *formaldehyde* berada di aliran bawah.



Kandungan air pada *bottom* dikontrol oleh sejumlah air *make-up* dan ditambahkan pada bagian atas absorber (McKetta, 1983).

Setelah proses dari absorpsi, kemudian diproses lebih lanjut dalam kolom distilasi. Metanol sisa setelah di *reflux* masih digunakan kembali sebagai *feed*. Bagian *bottom* digunakan 1% berat metanol. Distilat bersih metanol di pompa sebagai *feed* metanol, rancangan telah diusulkan untuk *recycle* uap guna menghemat energi. Beberapa desain menyebutkan operasi vakum metanol masih untuk mengurangi degradasi produk ke asam formiat (produk samping) dan untuk meningkatkan faktor pemisahan antara *formaldehyde* dan metanol pada kolom distilasi (McKetta, 1983).

Dalam proses ini asam formiat mungkin berlebihan (lebih besar dari 0,02%) tergantung pada kondisi pengolahan. Jika hal ini terjadi, aliran pada *bottoms* dilewatkan melalui *bed ion-exchanger*. Selain itu, tergantung juga pada spesifikasi produk. Banyak pabrik dirancang untuk menghasilkan produk *formaldehyde* 50% dan dapat dilarutkan pada titik penggunaan (McKetta, 1983).

Keseimbangan material representatif pabrik *formaldehyde* rata-rata menghasilkan produk *formaldehyde* 37%. Dalam hal ini konversi metanol dalam reaktor adalah 65,1%. Ada kemungkinan untuk mengoperasikan proses *silver catalyst* di konversi dengan metanol dengan rasio udara/metanol pada kondisi reaktor 650-700°C dan 0,5-1,5 lb steam/lb metanol untuk memberikan produk akhir dengan hasil metanol dari 2 hingga 5% dan tanpa diperlukan untuk distilasi (McKetta, 1983).



menentukan konversi dan untuk mencegah ledakan yang terjadi pada *methanol* (6,7 sampai 36,5 vol % dalam udara) (McKetta, 1983).

II.2 Seleksi Proses

Tabel 2.1 Perbedaan Proses *Silver Catalyst* dan *Haldor Topsoe* (*Mixed Oxide Catalyst*)

| No. | Parameter | <i>Silver Catalyst</i> | | Haldor Topsoe (<i>Mixed Oxyde Catalyst</i>) |
|-----|------------------|---|--|---|
| | | BASF Proses (<i>Complete Conversion</i>) | <i>Incomplete Conversion</i> | |
| 1. | Suhu Operasi | 680-720°C | 600-650 °C | 340°C |
| 2. | Tekanan operasi | Diatas atmosfer (>1 atm) | Diatas atmosfer (>1 atm) | Diatas atmosfer (>1 atm) |
| 3. | Konversi metanol | 97-98% | 77-78% | 98,4% |
| 4. | <i>Yield</i> | 89,5-90,5% | 91-92% | 94,4% |
| 5. | Katalis | Perak (3-8 bulan) | Perak (3-8 bulan) | <i>Molybdenum oxide</i> dan <i>iron oxide</i> (12-15 bulan) |
| 6. | Reaktor | <i>Fixed Bed Multitube</i> | <i>Fixed Bed Multitube</i> | <i>Fixed Bed Multitube</i> |
| 7. | Biaya | Alat yang digunakan sedikit (tidak membutuhkan kolom distilasi), <i>steam</i> yang dibutuhkan banyak, umur katalis lebih pendek, (prospek keuntungan cukup) | Alat yang digunakan lebih banyak (membutuhkan kolom distilasi), <i>steam</i> yang dibutuhkan banyak, umur katalis lebih pendek, (prospek keuntungan kecil) | Alat yang digunakan lebih sedikit (tidak membutuhkan kolom distilasi), <i>steam</i> yang dibutuhkan lebih sedikit, katalis dapat digunakan dalam jangka panjang, (prospek keuntungan besar) |



Dari **Tabel 2.1** dapat diketahui perbedaan antara BASF proses, *incomplete conversion*, dan *mixed oxide*. Dari ketiga proses tersebut *haldor topsoe (mixed oxide)* merupakan metode yang tepat dalam rancangan pabrik *formaldehyde* dengan pertimbangan :

1. Suhu operasi proses *haldor topsoe (mixed oxide)* lebih rendah dibandingkan dengan BASF proses dan *incomplete conversion*. Hal ini berkaitan dengan desain peralatan lebih hemat *heat exchanger* (kebutuhan pemanas) bahan dan banyak menghasilkan produk karena apabila suhunya tinggi bahan baku akan menguap dan hasil produk akan berkurang. Selain itu, sistem keamanan pada suhu rendah mudah untuk dikontrol.
2. Konversi metanol dan *yield* yang dihasilkan tinggi. Hal ini berarti proses *haldor topsoe (mixed oxide)* menghasilkan produk dengan kuantitas yang lebih banyak untuk satuan bahan baku yang sama jika dibandingkan dengan BASF proses dan *incomplete conversion*.
3. *Yield* yang dihasilkan pada proses *haldor topsoe (mixed oxide)* lebih besar daripada *silver catalyst* yakni 94,4%.
4. Katalis penggunaan pada *haldor topsoe (mixed oxide)* lebih menguntungkan dibandingkan dengan BASF proses dan *incomplete conversion*. Hal ini dikarenakan lamanya waktu penggunaan katalis *iron oxide* dan *molibdenum oxide* lebih lama dibandingkan dengan *silver catalyst* sehingga dapat menghemat biaya pengeluaran saat proses produksi.
5. Lebih ekonomis, hal ini didasarkan pada referensi (Mc. Ketta 1983), total *fixed capital investment* dengan basis kapasitas 100.000.000 lb/tahun pada proses *haldor topsoe (mixed oxide)* dapat menghabiskan biaya sebesar US \$4.600.000. Sedangkan untuk BASF proses dan *incomplete conversion* biaya proses hampir sama karena keduanya menggunakan *silver catalyst* yaitu dapat menghabiskan biaya sebesar US \$5.400.000. Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses *haldor topsoe (mixed*



oxide) biaya operasional lebih hemat dibandingkan dengan BASF proses dan *incomplete conversion*.

Untuk menghasilkan produk *formaldehyde* 37% berat pada proses *haldor topsoe (mixed oxide)* tidak memerlukan menara kolom distilasi seperti yang terdapat pada proses *incomplete conversion*. Jumlah peralatan yang digunakan pun lebih sedikit, sehingga lebih menghemat biaya investasi dan perawatan selama pabrik berdiri. Meskipun demikian pada proses *haldor topsoe (mixed oxide)* juga terdapat kekurangan tidak bisa mengubah komposisi produk dikarenakan tidak adanya menara kolom distilasi seperti yang terdapat pada *incomplete conversion*.

II.3 Uraian Proses Terpilih

Metanol diuapkan dalam sebuah *steam-heated vaporizer*, kemudian dialirkan ke alat selanjutnya menuju reaktor. Aliran fluida melewati atas yang bereaksi ke bawah melalui *tube* dan pemindahan panas dari reaksi untuk sirkulasi media transfer pendingin melalui *shell* reaktor. *Catalyst* berbentuk granular atau *spherical* yaitu Fe/Mo dan karakteristik umurnya seperti umur selama periode (12-15 bulan) (McKetta, 1983).

Umpan fluida gas melewati *catalyst-filled tubes* dalam *heat-exchanging reactor*. *Boiling heat transfer* yang tinggi di luar *tube* dan merubah media transfer pendingin menjadi *steam*. Pada proses menggunakan *excess* udara dan di kontrol pada suhu isothermal 340°C. Setelah meninggalkan *reactor*, gas didinginkan pada suhu 110°C pada sebuah unit *heat exchange* (WHB) dan melewati bagian bawah menuju kolom absorber (Ullmann, 1987).

Absorber dapat di desain menggunakan *type packed* atau *tray*. Absorber diperlukan untuk menghilangkan gas CO, CO₂, O₂, dan N₂. Absorber bagian atas dijaga pada suhu yang rendah dalam menentukan penghilangan *formaldehyde* dari gas *overhead*. Bagian bawah dari absorber dijadikan produk akhir. Pembuatan *formaldehyde* proses *haldor topsoe* kondisi reaksi menghasilkan lebih banyak asam formiat daripada proses *silver catalyst*, maka



dibutuhkan sebuah alat yang bernama *deionizer* untuk menghilangkan asam formiat tersebut (McKetta, 1983).

Proses pembuatan *formaldehyde* dari bahan baku metanol dan udara berdasarkan proses haldor topsoe (*mixed oxide catalyst*) dibagi menjadi tiga tahap, yakni:

1. Tahap penyiapan bahan baku
2. Tahap pembentukan produk
3. Tahap pemurnian produk

II.3.1 Tahap Persiapan Bahan Baku

Tahap persiapan bahan baku bertujuan untuk mengubah fase metanol cair menjadi gas didalam alat *vaporizer*. Mengkondisikan temperatur umpan metanol dan udara sehingga sesuai dengan kondisi reaktor.

Bahan baku utama berupa metanol dan udara. *Feed* pertama merupakan metanol yang diambil dari tangki penyimpanan pada kondisi cair dengan temperatur 30°C dan tekanan 1 atm. Metanol diumpankan kedalam *vaporizer* menggunakan pompa sehingga tekanan umpan metanol naik sampai dengan 1,3 atm. Pada alat *vaporizer*, mengubah fase metanol dari bentuk cair menjadi gas pada suhu 80°C. Uap *methanol* keluaran dari *vaporizer* kemudian diumpankan ke *exchanger* untuk menaikkan suhu hingga mencapai suhu persiapan reaktor 300°C.

Feed kedua yaitu udara (N₂ dan O₂). *Feed* udara dengan tekanan 1 atm dan temperatur 30°C diumpankan kedalam *dehumidifier* dengan menggunakan blower sehingga tekanan udara naik menjadi 1,3 atm. Keluaran dari *dehumidifier* kemudian diumpankan ke *exchanger* untuk menaikkan suhu hingga mencapai suhu persiapan reaktor 300°C.

II.3.2 Tahap Pembentukan Produk

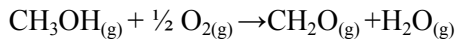
Pada tahap ini umpan metanol dan udara yang telah dikondisikan akan bereaksi di dalam reaktor *fixed bed multitube*. Reaksi oksidasi metanol menghasilkan *formaldehyde* pada reaktor



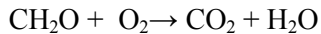
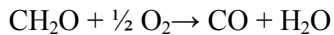
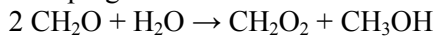
fixed bed multitube berlangsung dalam fase gas pada suhu 340°C dan tekanan 1,3 atm. Umpan fluida masuk ke dalam reaktor melalui *tube* yang berisi katalis, sedangkan media transfer pendingin melalui sisi *shell* reaktor. Katalis yang digunakan adalah *iron oxide* (Fe₂(MoO₃)₂) dan *molybdenum oxide* (MoO₃) yang memiliki masa aktif sampai 15 bulan.

Reaksi oksidasi metanol berlangsung secara non isothermal dan non adiabatik. Reaksi oksidasi metanol merupakan reaksi eksotermis sehingga selama reaksi berlangsung akan dilepas sejumlah panas. Kenaikan temperatur yang terjadi dalam reaktor sangat tidak diinginkan sehingga dibutuhkan media pendingin untuk menyerap panas yang terjadi selama reaksi dalam reaktor tersebut berlangsung. Pendingin akan mempertahankan kondisi operasi reaktor yakni pada suhu 340°C dan tekanan 1,3 atm. Berikut ini adalah reaksi yang terjadi di reaktor:

Reaksi utama:



Reaksi samping:



Pada temperatur 340°C dan tekanan 1,3 atm, konversi metanol bisa mencapai 98,4%. Temperatur sangat mempengaruhi konversi yang terbentuk. Oleh karena itu, medium pendingin sangat berperan penting untuk mencegah terbentuknya reaksi samping yang tidak diinginkan.

II.3.3 Tahap Pemurnian Produk

Tahap pemurnian produk bertujuan untuk memisahkan O₂, N₂, CO₂, CO dari absorber dan juga memisahkan larutan *formaldehyde* dari asam formiat untuk diambil sebagai produk.

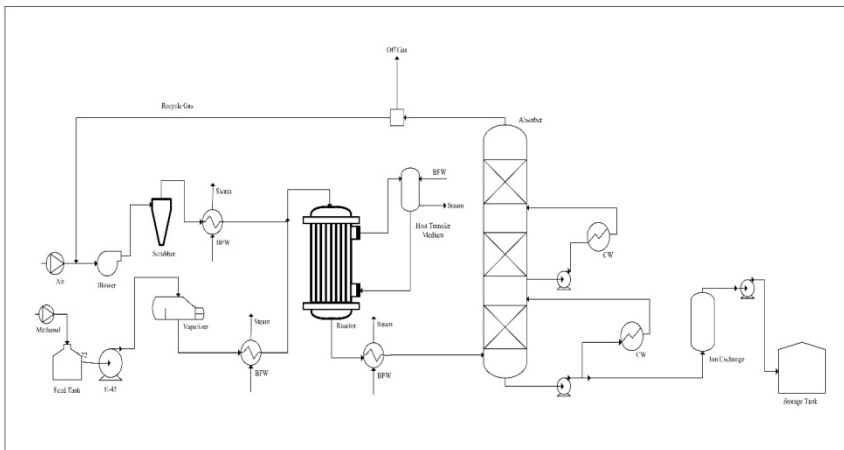
Produk keluaran dari reaktor harus segera didinginkan untuk menghindari terbentuknya reaksi samping. Produk keluaran



dari reaktor diumpankan pada *Waste Heat Boiler* (WHB) menuju kolom absorpsi untuk melakukan pendinginan hingga suhu 110°C sebelum diumpankan ke absorber.

Produk reaktor dimasukkan ke dalam absorber pada suhu 110°C dan tekanan 1,3 atm. Komponen O_2 dan N_2 dipisahkan dari reaktor pada absorber dengan pelarut air dengan suhu masuk 30°C . Air masuk disemprotkan dari atas absorber. Absorber bekerja berdasarkan sifat kelarutan dimana *formaldehyde*, *formic acid* dan metanol akan larut dalam air sedangkan O_2 , N_2 , CO_2 , Ar, CO tidak larut dalam air. Gas yang tidak terserap oleh absorber akan dibuang sebagai *off gas*. Produk bawah dari absorber dialirkan menuju cooler untuk melakukan pendinginan hingga suhu 45°C , kemudian dipompa menuju *deionizer* yang bertujuan untuk menyerap asam formiat. Produk keluaran dari *deionizer* merupakan produk *formaldehyde* dengan kadar 37% yang kemudian dipompakan menuju tangki penyimpanan produk.

II.3.4 Blok Diagram Proses



Gambar 2.4 Flowsheet Produksi *Formaldehyde* dengan Uraian Proses Terpilih (Haldor Topsoe)
(Sumber: McKetta, 1983)

BAB III NERACA MASSA

1 tahun produksi = 330 hari
 1 hari operasi = 24 jam
 Basis = 1 jam

Perhitungan kebutuhan bahan baku menggunakan basis 1000kg/jam diperoleh produk sebesar 898,4 kg/jam untuk memproduksi 8838,4 kg/jam, maka bahan baku yang dibutuhkan adalah sebesar 9838, 3 kg/jam.

Kapasitas produksi = 70000,0 ton/tahun
 = 212121,2 kg/hari
 = 8838,4 kg/jam

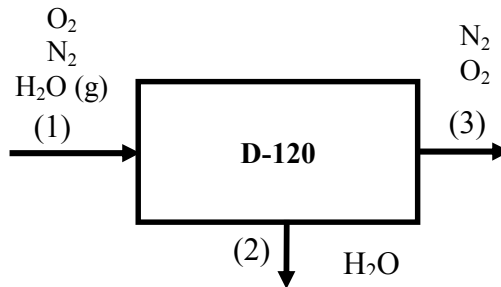
Penentuan kebutuhan bahan baku menggunakan basis = 1000,0 kg/jam
 Hasil produk basis = 898,4 kg/jam
 Kapasitas bahan baku = 9838,3 kg/jam

Tabel 3.1 Berat Molekul Komponen

| Komponen | BM (kg/kmol) |
|--------------------------------|--------------|
| H ₂ O | 18 |
| O ₂ | 32 |
| N ₂ | 28 |
| CO | 28 |
| CO ₂ | 44 |
| CH ₃ OH | 32 |
| CH ₂ O | 30 |
| CH ₂ O ₂ | 46 |
| NaOH | 40 |



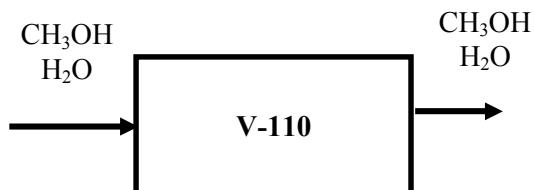
1. Dehumidifier

Fungsi : Mengurangi *Humidity* Udara

Tabel 3.2 Neraca Massa Dehumidifier

| Komponen | Aliran Masuk | | Komponen | Aliran keluar | |
|------------------|--------------|--------|------------------|---------------|--------|
| | Aliran (1) | | | Aliran (2) | |
| | kg | kmol | | Kg | kmol |
| H ₂ O | 0,98 | 0,05 | H ₂ O | 0,9 | 0,05 |
| O ₂ | 1522,14 | 47,57 | | | |
| N ₂ | 5726,16 | 204,51 | | Aliran (3) | |
| | | | O ₂ | 1522,14 | 47,57 |
| | | | N ₂ | 5726,16 | 204,51 |
| | | | | | |
| Total | 7249,28 | 252,13 | Total | 7249,28 | 252,13 |

2. Vaporizer

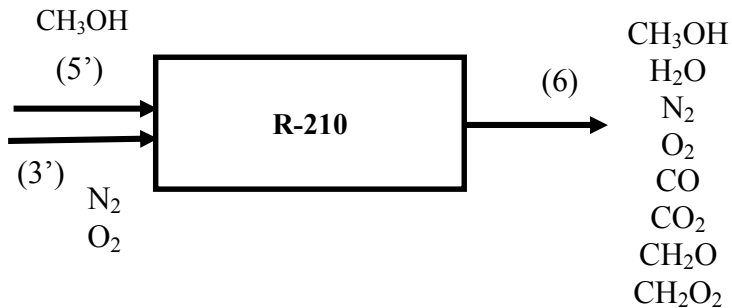
Fungsi : Mengubah metanol *fase liquid* menjadi *fase vapor*

Tabel 3.3 Neraca Massa *Vaporizer*

| Komponen | Aliran Masuk | | Komponen | Aliran keluar | |
|--------------------|----------------|--------------|--------------------|----------------|--------------|
| | Aliran (4) | | | Aliran (5) | |
| | kg | kmol | | Kg | kmol |
| CH ₃ OH | 2585,15 | 80,79 | CH ₃ OH | 2585,15 | 80,79 |
| H ₂ O | 3,88 | 0,22 | H ₂ O | 3,88 | 0,22 |
| Total | 2589,03 | 81,00 | Total | 2589,03 | 81,00 |

3. Reaktor

Fungsi : Mereaksikan metanol *fase vapor* dan udara dengan bantuan katalis *Iron Molybdenum*



Tabel 3.4 Neraca Massa Reaktor

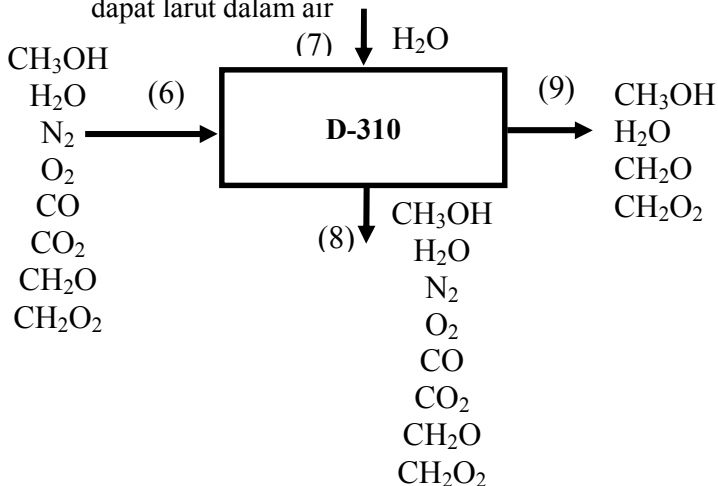
| Komponen | Aliran Masuk | | Komponen | Aliran keluar | |
|--------------------|--------------|--------|--------------------|---------------|--------|
| | Aliran (3) | | | Aliran (6) | |
| | Kg | kmol | | kg | kmol |
| O ₂ | 1522,14 | 47,57 | CH ₃ OH | 41,36 | 1,29 |
| N ₂ | 5726,16 | 204,51 | N ₂ | 5726,16 | 204,51 |
| | | | O ₂ | 247,72 | 7,74 |
| | Aliran (5) | | CO ₂ | 0,0034 | 0,0001 |
| CH ₃ OH | 2585,15 | 80,79 | CO | 0,0434 | 0,0015 |
| H ₂ O | 3,88 | 0,22 | CH ₂ O | 2380,06 | 79,34 |



| | | | | | |
|--------------|----------------|---------------|--------------------------------|----------------|---------------|
| | | | CH ₂ O ₂ | 7,19 | 0,16 |
| | | | H ₂ O | 1434,79 | 79,71 |
| | | | | | |
| Total | 9837,33 | 332,86 | Total | 9837,33 | 372,74 |

4. Absorber

Fungsi : Mengurangi gas CO, CO₂, O₂, dan N₂ yang tidak dapat larut dalam air

**Tabel 3.5** Neraca Massa Absorber

| Komponen | Aliran Masuk | | Komponen | Aliran keluar | |
|--------------------|--------------|--------|--------------------|---------------|--------|
| | Aliran (6) | | | Aliran (8) | |
| | kg | kmol | | kg | kmol |
| CH ₃ OH | 41,36 | 1,29 | CH ₃ OH | 1,24 | 0,04 |
| N ₂ | 5726,16 | 204,53 | N ₂ | 5726,16 | 204,51 |
| O ₂ | 247,72 | 7,74 | O ₂ | 247,72 | 7,74 |
| CO ₂ | 0,0034 | 0,0001 | CO ₂ | 0,0034 | 0,0001 |
| CO | 0,043 | 0,002 | CO | 0,043 | 0,002 |

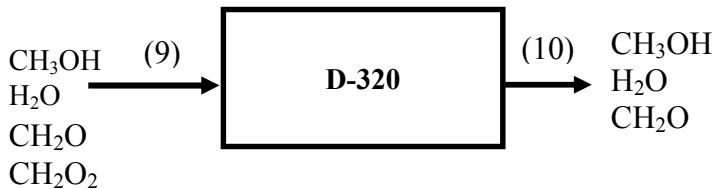


BAB III Neraca Massa

| | | | | | |
|--------------------------------|----------|--------|--------------------------------|----------|--------|
| CH ₂ O | 2380,06 | 79,34 | CH ₂ O | 71,40 | 2,38 |
| CH ₂ O ₂ | 7,19 | 0,16 | CH ₂ O ₂ | 0,22 | 0,005 |
| H ₂ O | 1434,79 | 79,71 | | | |
| | | | | | |
| Aliran (7) | | | | | |
| H ₂ O | 5047,89 | 280,44 | CH ₃ OH | 40,12 | 1,25 |
| | | | CH ₂ O | 2308,65 | 76,96 |
| | | | CH ₂ O ₂ | 6,98 | 0,15 |
| | | | H ₂ O | 6482,67 | 360,15 |
| | | | | | |
| Total | 14885,22 | 653,18 | Total | 14885,22 | 653,18 |

5. Deionizer

Fungsi : Mengurangi asam format



Tabel 3.5 Neraca Massa Deionizer

| Komponen | Aliran Masuk | | Komponen | Aliran keluar | |
|--------------------------------|--------------|--------|--------------------|---------------|--------|
| | Aliran (9) | | | Aliran (10) | |
| | kg | kmol | | kg | kmol |
| CH ₃ OH | 40,12 | 1,25 | CH ₃ OH | 40,12 | 1,25 |
| H ₂ O | 6482,67 | 360,15 | H ₂ O | 6489,66 | 360,54 |
| CH ₂ O | 2308,65 | 76,95 | CH ₂ O | 2308,65 | 76,96 |
| CH ₂ O ₂ | 6,98 | 0,15 | | | |
| Total | 8838,43 | 438,51 | Total | 8838,43 | 438,74 |

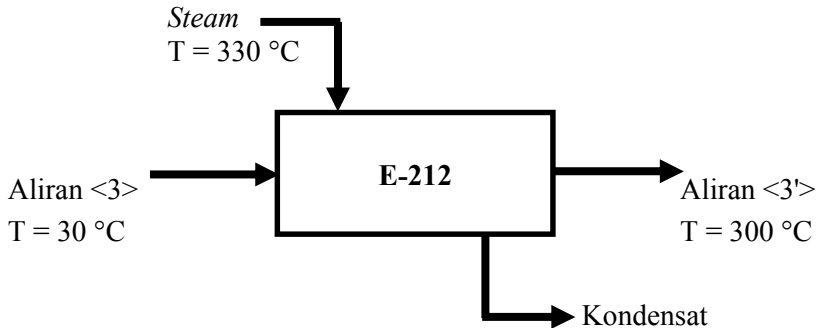


BAB IV NERACA PANAS

| | | |
|-------------|---|-------------------|
| Kapasitas | = | 70.000 ton/tahun |
| | = | 212121,21 kg/hari |
| | = | 8838,38 kg/jam |
| Basis | = | 1 jam operasi |
| T referensi | = | 25°C |
| Satuan | = | Kkal/jam |

1. Preheater

Fungsi : Menaikkan temperatur udara O₂ dan N₂ untuk mempersiapkan suhu masuk reaktor



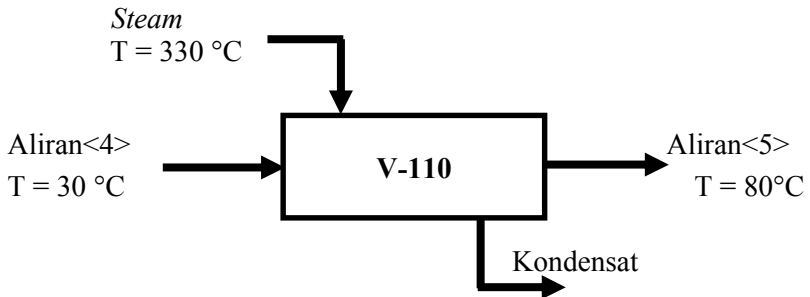
Tabel 4.1 Neraca Energi *Preheater*

| Masuk (kkal) | | Keluar (kkal) | |
|--------------|-----------|---------------|-----------|
| Hin | 8774,93 | Hout | 493096,33 |
| Q supply | 509812,00 | Q loss | 25490,60 |
| Total | 518586,93 | | 518586,93 |



2. Vaporizer

Fungsi : Mengubah metanol *fase liquid* menjadi *fase vapor*

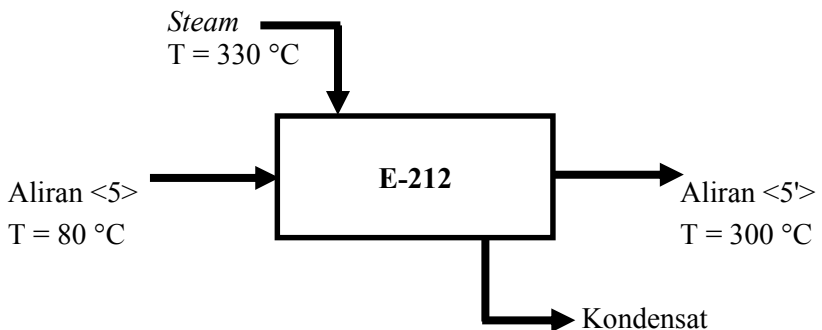


Tabel 4.2 Neraca Energi Vaporizer

| Masuk (kkal) | | Keluar (kkal) | |
|--------------|-----------|---------------|-----------|
| Hin | 7901,30 | Hout | 50251,22 |
| Q supply | 708991,98 | Hv | 631192,47 |
| | | Q loss | 35449,60 |
| Total | 716893,29 | | 716893,29 |

3. Preheater

Fungsi : Menaikkan temperatur metanol *fase vapor* untuk mempersiapkan suhu masuk reaktor

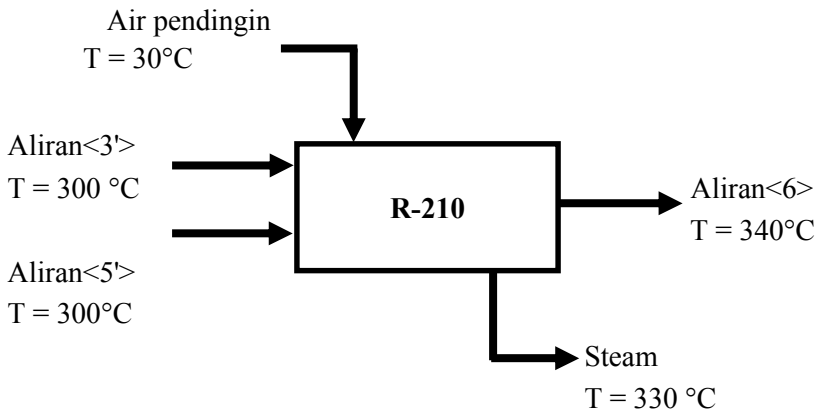


**Tabel 4.3** Neraca Energi Preheater

| Masuk (kkal) | | Keluar (kkal) | |
|--------------|-----------|---------------|-----------|
| Hin | 50251,22 | Hout | 296497,57 |
| Q supply | 259206,69 | Q loss | 12960,33 |
| Total | 309457,91 | | 309457,91 |

4. Reaktor

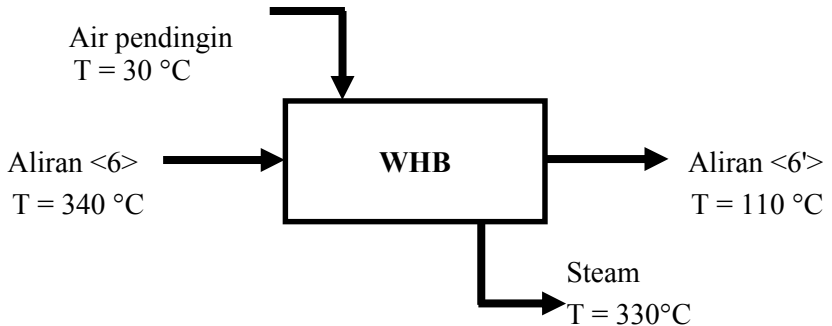
Fungsi : Mereaksikan metanol *fase vapor* dan udara dengan bantuan katalis *Iron Molybdenum*

**Tabel 4.4** Neraca Energi Reaktor

| Masuk (kkal) | | Keluar (kkal) | |
|--------------|-----------|---------------|-------------|
| Hin | 789593,91 | Hout | 940593,09 |
| | | HRx | -2062470,79 |
| | | Q serap | 1911471 |
| Total | 789593,91 | | 789593,91 |

5. *Waste Heat Boiler (WHB)*

Fungsi : Mereaksikan metanol fase vapor dan udara dengan bantuan katalis *Iron Molybdenum*

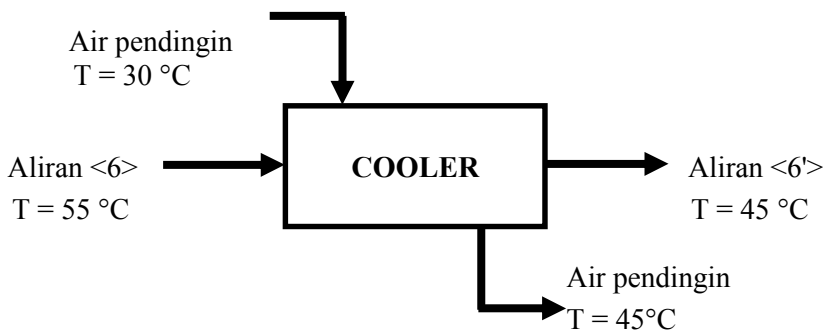


Tabel 4.5 Neraca Energi WHB

| Masuk (kkal) | | Keluar (kkal) | |
|--------------|-----------|---------------|-----------|
| Hin | 940593,09 | Hout | 24229,46 |
| | | Q serap | 698463,63 |
| Total | 940593,09 | | 940593,09 |

6. *Cooler*

Fungsi : Menurunkan suhu produk keluaran absorber sebagai umpan deionizer



**Tabel 4.6** Neraca Energi Cooler

| Masuk (kkal) | | Keluar (kkal) | |
|---------------------|-----------|----------------------|-----------|
| Hin | 234281,07 | Hout | 156148,59 |
| | | Q serap | 78132,48 |
| Total | 234281,07 | | 234281,07 |

BAB V

SPESIFIKASI ALAT

1 Tangki Penyimpanan Metanol

| Spesifikasi | | Keterangan | |
|--------------------------|---|--|----------------|
| Kode Alat | = | F-111 | |
| Fungsi | = | Menyimpan Umpan metanol | |
| Tipe Tangki | = | <i>Cylindrical - Torispherical Roof - flat Bottom Tank</i> | |
| Bahan Konstruksi | = | Carbon Steel SA-283 Grade C | |
| Tekana Operasi | = | 15 atm | |
| Tekanan Desain | = | 16,38 | atm |
| Kapasitas Tangki | = | 437,15 | m ³ |
| Tinggi Tangki | = | 22,007 | ft |
| Diameter Tangki | | | |
| Diameter dalam | = | 21,42 | ft |
| Diameter luar | = | 22,01 | ft |
| Tebal <i>Shell</i> | = | 3,219 | in |
| Tinggi <i>Shell</i> | = | 5,67 | ft |
| Tebal <i>Head</i> Tangki | = | 3,503 | in |



2. Pompa

| Spesifikasi | Keterangan | |
|-----------------|------------|--|
| Kode Alat | = | L-112 |
| Fungsi | = | untuk memompa bahan baku fresh methanol dari tangki penyimpanan menuju vaporizer |
| Tipe Pompa | = | <i>Centrifugal Pump</i> |
| Kapasitas Pompa | = | 0,0016 cuft/s |
| Power Pompa | = | 0,60 hp |
| Ukuran Pipa | | |
| D Nominal | = | 1,5 in |
| ID | = | 1,61 in |
| OD | = | 1,9 in |
| Schedule No. | = | 40 |
| Bahan | = | <i>Commercial Steel</i> |
| Power Motor | = | 0,54 hp |

3. Absorber

| Spesifikasi | Keterangan | |
|-----------------|------------|--|
| Kode Alat | = | D-310 |
| Fungsi | = | Untuk menghilangkan gas CO, CO ₂ , O ₂ dan N ₂ yang tidak ikut bereaksi |
| Bentuk | = | Silinder vertikal dengan tutup atas dan bawah standard dished head |
| Bahan | = | <i>Carbon steel SA-21 grade A</i> |
| Diameter | = | 0,5983 m |
| Tinggi | = | 2,99 m |
| Tebal head | = | 3/16 in |
| Tebal shell min | = | 3/16 in |



4. Reaktor

| Spesifikasi | Keterangan |
|----------------|---|
| No. kode | = R-210 |
| Fungsi | = Mereaksikan metanol fase vapor dan udara dengan bantuan katalis Iron Molybdenum |
| Tipe | = Vertikal drum |
| Kapasitas | = 32,5 m ³ |
| Tipe sambungan | = Double welded but joint |
| Jenis tutup | = Elliptical head |
| Tinggi Reaktor | = 5,491 m |
| Tebal Reaktor | = 2 in |
| Tebal tutup | = 2 in |
| Jumlah | = 1 buah |

5. Preheater

| Spesifikasi | Keterangan |
|------------------|--------------------------------|
| Kode Alat | = E-211 |
| Fungsi | = Menaikkan suhu umpan reaktor |
| Jenis | = DPHE |
| Jumlah | = 1 |
| Bahan Konstruksi | = Carbon Steel SA-283 Grade C |
| Luas Area | = 94 ft ² |
| Temperatur | |
| T ₁ | = 626 °F |
| T ₂ | = 626 °F |
| t ₁ | = 176 °F |
| t ₂ | = 572 °F |



| | | | |
|-----------------------|---|---------|-----------------------------|
| <i>Outer pipe</i> | = | 2,5 | |
| <i>Inner pipe</i> | = | 1,25 | |
| <i>Length</i> | = | 12 | ft |
| <i>Jumlah hairpin</i> | = | 9 | |
| <i>Fouling factor</i> | = | 0,0025 | jam.ft ² .°F/Btu |
| ΔP annulus | = | 0,70320 | psi |
| ΔP inner pipe | = | 0,3328 | psi |

6. Vaporizer

| Spesifikasi | | Keterangan | |
|--------------------|---|--|-----------------|
| Fungsi | = | Merubah fase metanol liquida menjadi uap | |
| Jenis | = | <i>Shell and tube</i> (1-2 HE) | |
| Jumlah | = | 1 | |
| Bahan Konstruksi | = | <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> | |
| Luas area | = | 1639,9 | ft ² |
| Temperatur | | | |
| T_1 | = | 330 | °C |
| T_2 | = | 330 | °C |
| t_1 | = | 30 | °C |
| t_2 | = | 80 | °C |
| Tube | | | |
| OD, BWG | = | 1 | in 14 BWG |
| ID | = | 0,83 | in |
| <i>Length</i> | = | 12 | ft |
| <i>Jumlah tube</i> | = | 522 | |
| <i>Pitch</i> | = | 1,25 | in triangular |
| ΔP tube | = | 0,0077 | psi |
| Shell | | | |



BAB V Spesifikasi Alat

| | | | |
|-----------------------|---|-------|-----------------------------|
| ΔP_{shell} | = | 0,01 | psi |
| ID <i>shell</i> | = | 33 | in |
| <i>Fouling factor</i> | = | 0,133 | jam.ft ² .°F/Btu |

7. Cooler

| Spesifikasi | | Keterangan | |
|-----------------------|----|--------------------------------------|-----------------------------|
| Kode Alat | = | E-312 | |
| Fungsi | = | Mendinginkan produk absorber (E-312) | |
| Jenis | = | <i>Shell and tube</i> (1-2 HE) | |
| Jumlah | = | 1 | |
| Bahan | | | |
| Konstruksi | = | <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> | |
| Luas Area | = | 728,85 | ft ² |
| Temperatur | | | |
| T_1 | = | 55 | °C |
| T_2 | = | 45 | °C |
| t_1 | = | 30 | °C |
| t_2 | = | 45 | °C |
| Tube | | | |
| OD, BWG | = | 1 in | 14 BWG |
| ID | = | 0,83 | in |
| <i>Length</i> | = | 12 | ft |
| Jumlah <i>tube</i> | = | 232 | |
| <i>Pitch</i> | = | 1,25 | in <i>triangular</i> |
| ΔP_{tube} | = | 0,01 | psi |
| Shell | | | |
| ID <i>shell</i> | = | 23,3 | in |
| ΔP_{shell} | = | 1 | psi |
| <i>Fouling factor</i> | := | 0,0230 | jam.ft ² .°F/Btu |



8. WHB (Waste Heat Boiler)

| Spesifikasi | | Keterangan | |
|------------------|---|--|-----------------------------|
| Kode Alat | = | E-213 | |
| Fungsi | = | Menurunkan suhu setelah keluar reaktor | |
| Jenis | = | Shell and tube (1 HE) | |
| Jumlah | = | 1 | |
| Bahan Konstruksi | = | Carbon Steel SA-283 Grade C | |
| Luas Area | = | 728,9 | ft ² |
| Temperatur | | | |
| T ₁ | = | 340 | °C |
| T ₂ | = | 110 | °C |
| t ₁ | = | 30 | °C |
| t ₂ | = | 330 | °C |
| Tube | | | |
| OD, BWG | = | 1 | in 14 BWG |
| ID | = | 0,8 | in |
| Length | = | 12 | ft |
| Jumlah tube | = | 232 | |
| Pitch | = | 1,25 | in triangular |
| ΔP tube | = | 0,003 | psi |
| Shell | | | |
| ID shell | = | 23,25 | in |
| ΔP shell | = | 0,313 | psi |
| Fouling factor | = | 0,001 | jam.ft ² .°F/Btu |

BAB VI UTILITAS

VI.1 UTILITAS SECARA UMUM

Dalam suatu pabrik, peran dari utilitas sebagai unit pendukung operasional suatu proses produksi sangatlah penting. Semua sarana pendukung operasional suatu proses produksi tersebut disediakan dan disiapkan oleh suatu unit atau pabrik yang secara umum disebut pabrik utilitas. Dengan kata lain, utilitas merupakan suatu pabrik yang menyiapkan sarana pendukung suatu proses produksi pada suatu pabrik. Sarana utilitas pada pabrik *Formaldehyde* diantaranya adalah :

I. Air

Kebutuhan air pada pabrik *Formaldehyde* dipenuhi dari air sungai. Air digunakan untuk menghasilkan air pendingin, air *demineralisasi* untuk mensuplay alat *Waste Heat Boiler* (WHB) yang menghasilkan *steam* dan air untuk keperluan sanitasi.

II. Steam

Steam dihasilkan dari unit *Waste Heat Boiler* (WHB) dan digunakan untuk proses produksi, yaitu:

- *Heater*, sebagai media pemanas untuk O_2 , N_2 , CH_3OH dan H_2O sebelum masuk reaktor
- *Vaporizer*, yang digunakan untuk mengubah larutan metanol dari *fase liquid* menjadi *fase gas*

III. Listrik

Kebutuhan listrik pabrik dipenuhi dari PT.PLN Persero. Listrik pada pabrik digunakan untuk penerangan pabrik, dan proses produksi sebagai tenaga penggerak beberapa peralatan proses seperti pompa dan peralatan proses kontrol.



VI.2 SYARAT UNTUK KEBUTUHAN AIR PADA PABRIK FORMALDEHYDE AIR SANITASI

Air sanitasi digunakan untuk keperluan karyawan, laboratorium, perkantoran, pemadam kebakaran. Pada umumnya air sanitasi harus memenuhi syarat kualitas yang ditentukan sebagai berikut :

a. Syarat fisik :

- Suhu : Dibawah suhu udara sekitar
- Warna : Jernih
- Rasa : Tidak berasa
- Bau : Tidak berbau
- Kekeruhan : Kurang dari 1 mgr SiO_2 / liter

b. Syarat kimia :

- pH = 6,5 – 8,5
- Kesadahan kurang dari 70 CaCO_3
- Tidak mengandung zat terlarut berupa zat organik dan zat anorganik
- Tidak mengandung zat-zat beracun
- Tidak mengandung logam berat, seperti Pb, Ag, Cr, Hg

c. Syarat Biologi :

- Tidak mengandung kuman dan bakteri, terutama bakteri patogen
- Bakteri *Escherichia Coli* kurang dari 1/100 ml.

1. Air Pendingin

Tugas unit penyediaan air pendingin adalah untuk menyediakan air pendingin yang memenuhi syarat-syarat sebagai air pendingin untuk keperluan operasional pada Reaktor, Cooler, dan Absorber. Adapun faktor-faktor digunakannya air pendingin adalah sebagai berikut:

- Air merupakan materi yang mudah didapat dalam jumlah besar
- Mudah diatur dan dijernihkan



- Dapat menyerap jumlah panas yang besar per satuan volume
- Tidak mudah menyusut dengan adanya perubahan temperatur dingin
- Tidak terdekomposisi

Syarat kualitas *cooling water* :

- a. Tidak mengandung *Hardness* dan Silika karena dapat menimbulkan kerak
- b. Tidak mengandung besi karena dapat menimbulkan korosi
- c. Tidak mengandung minyak karena menyebabkan terganggunya *film corossion* pada inhibitor, menurunkan heat transfer dan memicu pertumbuhan mikroorganisme.

2. Air Demineralisasi

Air umpan *Waste Heat Boiler* (WHB) adalah air yang akan menjadi fase uap di dalam *shell and tube boiler*, dimana telah mengalami perlakuan khusus antara lain penjernihan, pelunakan, dan demineralisasi, walaupun air terlihat bening atau jernih, namun pada umumnya masih mengandung larutan garam dan asam yang dapat merusak peralatan *Waste Heat Boiler* (WHB).

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pengolahan Air Umpan *Waste Heat Boiler* (WHB) :

- a. Zat-zat penyebab korosi
Korosi dalam ketel disebabkan karena tidak sempurnanya pengaturan pH dan penghilangan oksigen, penggunaan kembali air kondensat yang banyak mengandung bahan-bahan pembentuk karat dan korosi yang terjadi selama ketel tidak dioperasikan.
- b. Zat penyebab '*scale foaming*'
Pembentukan kerak disebabkan adanya kesadahan dan suhu tinggi yang biasanya berupa garam-garam karbonat dan silika.
- c. Zat penyebab *foaming*
Air yang diambil kembali dari proses pemanasan biasanya menyebabkan busa (*foam*) pada *Waste Heat Boiler* (WHB),



karena adanya zat-zat organik, anorganik dan zat tidak terlarut dalam jumlah besar. Efek pembusakan terutama terjadi pada alkalinitas tinggi. Sebelum air dari unit pengolahan air digunakan sebagai umpan *Waste Heat Boiler* (WHB), dilakukan pelunakan air. Adapun tujuannya adalah untuk mengurangi ion Mg^{2+} dan Ca^{2+} yang mudah sekali membentuk kerak. Kerak akan menghalangi perpindahan proses panas sehingga akan menyebabkan *overheating* yang memusat dan menyebabkan pecahnya pipa.

VI.3 TAHAPAN PROSES PENGOLAHAN AIR PADA PABRIK FORMALDEHYDE

1. Penyaringan dan Pemisahan

Tahap ini menggunakan *strainer* yang berfungsi untuk menyaring kotoran dari air sungai yang berukuran besar. Kemudian di pompa masuk ke dalam *skimming tank* untuk memisahkan air dengan minyak yang ikut terhisap dan kotoran yang larut dalam air dan mengendap (*slurry*).

2. Koagulasi dan Flokulasi

Proses koagulasi dalam pengolahan air adalah proses pengumpulan partikel kecil menjadi partikel yang lebih besar sehingga selanjutnya dapat dipisahkan dari air melalui proses sedimentasi, filtrasi ataupun membran. Pengumpulan dan perbesaran partikel dalam proses koagulasi dan flokulasi dilakukan dengan penambahan koagulan. Proses koagulasi dilakukan dengan menambahkan koagulan dan dilakukan pemutaran cepat. Sedangkan proses flokulasi adalah proses pembesaran partikel setelah proses koagulasi. Proses ini dilakukan dengan pengadukan lambat (*Pizzi, 1979*).

Umumnya koagulan yang dipakai berupa tawas ($Al_2(SO_4)_3$) atau PAC. Setelah ditambahkan koagulan tawas ataupun PAC pH air akan turun dan suasana menjadi asam sehingga pada proses flokulasi biasanya terdapat proses netralisasi.



3. Pengendapan

Proses pengendapan padatan yang terbentuk dari proses flokulasi dan koagulasi secara gravitasi. Alat yang digunakan berupa *settling tank* (Pizzi, 1979). Alat yang digunakan untuk proses sedimentasi ini disebut *clarifier*.

4. Filtrasi

Proses ini merupakan proses penyaringan setelah proses sedimentasi menggunakan filter. Pada proses ini terjadi penyaringan pertikel yang belum dapat terendapkan pada *clarifier*.

Pada filter tersusun beberapa adsorben seperti karbon aktif, pasir, pasir silika dan antrasit. Adsorben disusun dengan urutan tertentu pada filter agar air yang keluar dari filter merupakan air bersih. Selain memisahkan pertikel yang belum terendapkan, adanya adsorben pada filter mampu memisahkan ion besi dan mangan pada air.

5. Demineralizing Plant

Proses ini digunakan untuk menghilangkan ion-ion yang tidak diinginkan dalam air seperti: arsen, nitrat, kalsium dan magnesium (*hardness*). Dalam *ion exchange* ini digunakan kation dan anion untuk menghilangkan ion-ion dalam air (Pizzi, 1979).

Proses *ion exchange* ini digunakan untuk air yang akan digunakan untuk *Waste Heat Boiler* (WHB). Air umpan *Waste Heat Boiler* (WHB) memiliki syarat khusus. Keberadaan ion besi, arsen, nitrat, kalsium dan magnesium dapat merusak dan mempercepat kerak pada *Waste Heat Boiler* (WHB).

Pada pabrik *formaldehyde steam* yang dihasilkan merupakan *steam* yang berasal dari *Waste Heat Boiler* (WHB). Sehingga syarat air umpan *Waste Heat Boiler* (WHB) sangat ketat berbeda dengan *boiler* penghasil *steam*. Air umpan *Waste Heat Boiler* (WHB) harus melalui proses demineralisasi. Proses demineralisasi terdiri atas kolom



kation yang berisi resin kation dan kolom anion berisi resin anion.

Pada kolom kation ion-ion positif dalam air (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+}) akan diikat oleh resin kation, sedangkan ion-ion negatif dalam air (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) selanjutnya akan diikat oleh resin anion. Regenerasi resin kation menggunakan larutan HCl sedangkan untuk regenerasi resin anion menggunakan larutan NaOH (Imafuku, 1999).

6. Deaerator dan Proses Boiler

Air demin dipompa ke Deaerator, untuk menghilangkan kandungan (WHB). Air didalam *tube boiler* (tipe pipa air) dan didalam *shell* dialiri fuida panas, sehingga terbentuklah *steam*/uap. Uap yang terbentuk kemudian didistribusikan ke alat yang membutuhkan yaitu *vaporizer* dan *preheater*.

VI.4 UTILITAS PADA PABRIK *FORMALDEHYDE*

Pabrik *formaldehyde* dari bahan metanol dan udara menggunakan proses sintesis memiliki sarana utilitas berupa air, *steam* serta listrik. Berikut kebutuhan utilitas pada pabrik *formaldehyde*:

VI.4.1 Air

Kebutuhan air pada pabrik *formaldehyde* dipenuhi dari air sungai dengan debit 1000 liter/detik yang terlebih dulu di *treatment*. Air digunakan untuk menghasilkan *steam* dari unit *Waste Heat Boiler* (WHB), pendingin untuk *cooler*, dan untuk keperluan sanitasi.

a. Air Sanitasi

Air sanitasi digunakan untuk keperluan karyawan, laboratorium, perkantoran, pemadam kebakaran dan keperluan lainnya. Berikut jumlah air sanitasi yang dibutuhkan pada pabrik *formaldehyde*.

- Untuk keperluan karyawan

Asumsi :

Jumlah karyawan = 300 orang



$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan tiap orang} &= 120 \text{ liter/hari} \\
 \text{Total kebutuhan air} &= 120 \times 300 \\
 &= 36000 \text{ liter/hari}
 \end{aligned}$$

- Untuk laboratorium

Direncanakan kebutuhan air untuk kebutuhan laboratorium adalah sebesar 15% dari kebutuhan karyawan, sehingga kebutuhan air untuk laboratorium adalah :

$$15\% \times 36000 \text{ liter/hari} = 5400 \text{ liter/hari}$$

- Untuk hidran kebakaran

Standar kebutuhan air untuk hidran kebakaran menurut SNI 19-6728.1-2002 sebesar 5% dari kebutuhan domestik (kebutuhan air karyawan), sehingga kebutuhan air adalah :

$$5\% \times 36000 \text{ liter/hari} = 1800 \text{ liter/hari}$$

Dari rincian diatas, dapat dihitung kebutuhan air sanitasi pada pabrik *formaldehyde*, yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Total kebutuhan air sanitasi} &= (36000+5400+1800) \text{ liter/hari} \\
 &= 43200 \text{ liter/hari}
 \end{aligned}$$

a. Air Pendingin

Jumlah kebutuhan untuk air pendingin didapatkan dari *Appendiks B-perhitungan neraca panas*. Air pendingin ini diperlukan pada beberapa alat di bawah ini :

Tabel 6.1 Kebutuhan Air Pendingin

| No. | Nama Peralatan | Kebutuhan air (kg/jam) |
|--------------|----------------|------------------------|
| 1. | Cooler | 5212,47 |
| Total | | 5212,47 |

b. Air *Waste Heat Boiler* (WHB)

Air umpan *Waste Heat Boiler* (WHB) adalah air umpan yang dilunakkan dari kandungan mineral yang terdapat dalam air tersebut. Walaupun air sudah kelihatan jernih tetapi pada umumnya masih mengandung garam dan asam yang dapat merusak *boiler*. Proses pelunakan pada air *boiler* disebut sebagai proses demineralisasi.



VI.4.2 Steam

Kebutuhan air alat *Waste Heat Boiler* (WHB) dan pendingin reaktor sama dengan *steam* yang dihasilkan. *Steam* yang dihasilkan dari unit alat *Waste Heat Boiler* (WHB) dan reaktor *steam* biasanya digunakan sebagai media pemanas dalam proses produksi. Kebutuhan air *Waste Heat Boiler* (WHB) dan pendingin reaktor pada pabrik *formaldehyde* dari metanol dan udara adalah :

Tabel 6.2Kebutuhan Air *Waste Heat Boiler* (WHB) dan Reaktor

| No. | Nama Peralatan | Kebutuhan air (kg/jam) |
|--------------|----------------|------------------------|
| 1. | WHB | 1704,16 |
| 2. | Reaktor | 4663,73 |
| Total | | 6367,89 |

VI.4.3 Air Proses

Jumlah kebutuhan untuk air proses didapatkan dari *Appendiks A-perhitungan neraca massa*. Air proses ini diperlukan pada beberapa alat di bawah ini :

Tabel 6.3Kebutuhan Air Proses

| No. | Nama Peralatan | Kebutuhan air (kg/jam) |
|--------------|----------------|------------------------|
| 1. | Absorber | 5047,89 |
| Total | | 5047,89 |

VI.4.3 Listrik

Listrik pada pabrik digunakan untuk penerangan pabrik, dan proses produksi sebagai tenaga penggerak beberapa peralatan proses seperti pompa dan peralatan proses kontrol. Tenaga listrik untuk pabrik ini dipenuhi oleh jaringan PT.PLN Persero dan sebagai cadangan digunakan generator untuk mengatasi keadaan bila sewaktu-waktu terjadi gangguan PLN.

Dari uraian di atas dapat dihitung kebutuhan air yang digunakan pada pabrik *formaldehyde*. Berikut kebutuhan air yang diambil dari sungai per hari :



- Air Sanitasi

Total air sanitasi yang dibutuhkan pada pabrik *formaldehyde* dari metanol dan udara dengan proses haldor topsoe sebesar 43200 liter/hari

$$\rho_{\text{air}} \text{ pada } 30^{\circ}\text{C} = 995,68 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Total Air} = 43200 \text{ liter/hari}$$

$$= 43,2 \text{ m}^3 / \text{hari}$$

$$\text{Total Air} = 995,68 \text{ kg/m}^3 \times 43,2 \text{ m}^3 / \text{hari}$$

$$= 43013,38 \text{ kg/hari}$$

- Air Pendingin

Total air yang digunakan sebagai pendingin pada pabrik *formaldehyde* dari metanol dan udara dengan proses haldor topsoe sebesar 5212,47 kg/jam. Setelah air pendingin digunakan, air direcycle dan dapat digunakan kembali. Sebagian air hilang ketika direcycle. Oleh karena itu dibutuhkan air make up agar jumlah air pendingin tetap sama.

$$\text{Water make up pendingin} = 20\% \times 5212,47 \text{ kg/jam}$$

$$= 1042,49 \text{ kg/jam}$$

$$= 250119,86 \text{ kg/hari}$$

- Air Umpan Boiler

Total air umpan boiler yang dibutuhkan pada pabrik *formaldehyde* dari metanol dan udara dengan proses haldor topsoe sebesar 6367,89 kg/jam.

$$\text{Air yang dibutuhkan} = 6367,89 \text{ kg/jam}$$

$$= 152829,36 \text{ kg/hari}$$

- Air Proses

Total air proses yang dibutuhkan pada pabrik *formaldehyde* dari metanol dan udara dengan proses haldor topsoe sebesar 5047,89 kg/jam.

$$\text{Air yang dibutuhkan} = 5047,89 \text{ kg/jam}$$

$$= 121149,36 \text{ kg/hari}$$



Dari rincian diatas dapat dihitung jumlah air keseluruhan yang dibutuhkan pada pabrik *formaldehyde* dari metanol dan udara dengan proses haldor topsoe. Berikut total air yang dibutuhkan :

Tabel 6.4 Kebutuhan Air Tiap Hari

| No. | Nama Peralatan | Jumlah (kg/hari) |
|--------------|--------------------------------|------------------|
| 1. | Air Sanitasi | 43013,38 |
| 2. | <i>Water Make Up</i> Pendingin | 250119,86 |
| 3. | <i>Water</i> Umpan Boier | 152829,36 |
| 4. | Air Proses | 121149,36 |
| Total | | 567111,96 |

Jumlah air yang dibutuhkan sebesar 567111,96 kg/hari atau sebesar 569,57 m³/hari (6,59 liter/s).

BAB VII

KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA

VII.1 PENDAHULUAN

VII.1.1 Keselamatan dan Kesehatan Kerja Secara Umum

Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 50 Tahun 2012 tentang Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja yang menerangkan bahwa Keselamatan dan Kesehatan Kerja yang selanjutnya disingkat K3 adalah segala kegiatan untuk menjamin dan melindungi keselamatan dan kesehatan tenaga kerja melalui upaya pencegahan kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja. Perlindungan terhadap tenaga kerja dimaksudkan untuk menjamin hak-hak dasar pekerja/buruh dan menjamin kesamaan kesempatan serta perlakuan tanpa diskriminasi atas dasar apapun untuk mewujudkan kesejahteraan pekerja/buruh dan keluarganya dengan tetap memperhatikan perkembangan kemajuan dunia usaha sesuai dengan yang sudah diatur dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan.

Menurut UU No.1 Tahun 1970 tentang keselamatan kerja menjelaskan bahwa:

1. Tenaga kerja berhak mendapat perlindungan atas keselamatannya dalam pekerjaan untuk kesejahteraan hidup dan meningkatkan produksi serta produktivitas
2. Keselamatan kerja berguna untuk mencegah dan mengurangi kecelakaan, kebakaran, bahaya peledakan ataupun terkena aliran listrik
3. Kewajiban dan atau hak tenaga kerja adalah memakai alat-alat pelindung diri yang diwajibkan, memenuhi dan mentaati semua syarat-syarat keselamatan dan kesehatan yang diwajibkan.
4. Pengurus diwajibkan menempatkan gambar keselamatan kerja pada tempat-tempat yang mudah terlihat dan terbaca. Selain itu pengurus diwajibkan menyediakan secara cuma-



cuma semua alat pelindung diri yang diwajibkan pada tenaga kerja

VII.1.2 Kecelakaan Kerja

Menurut Peraturan Pemerintah No.11 Th. 1979, kecelakaan dibagi menjadi 4 macam, antara lain:

1. Kecelakaan ringan, kecelakaan yang terjadi tetapi tidak menimbulkan hilangnya jam kerja.
2. Kecelakaan sedang, kecelakaan yang terjadi sehingga menimbulkan hilangnya jam kerja tetapi tidak menimbulkan cacat jasmani.
3. Kecelakaan berat, kecelakaan yang terjadi sehingga berakibat fatal dan menyebabkan cacat jasmani.
4. Kecelakaan mati, kecelakaan yang menyebabkan hilangnya nyawa manusia.

Berdasarkan teori dari Frank Bird Jr, menyebutkan bahwa kecelakaan disebabkan atas beberapa faktor berikut:

1. Penyebab langsung (*immediate causes*) adalah faktor kecelakaan yang secara langsung bersinggungan dengan manusia dan kondisi lingkungan kerja.
2. Sistem Manajemen
Kecelakaan yang disebabkan oleh manajemen adalah sebagai berikut :
 - Kurangnya perhatian manajer terhadap keselamatan kerja.
 - Kurangnya penerapan prosedur kerja dengan baik.
 - Kurangnya pengawasan terhadap kegiatan pemeliharaan, modifikasi dan berjalannya penerapan aspek-aspek keselamatan kerja di lapangan.
 - Tidak adanya inspeksi peralatan.
 - Kurangnya sistem penanggulangan terhadap bahaya.
3. Bahaya Mekanik
Kecelakaan yang disebabkan oleh benda-benda mekanik, antara lain :
 - Benda-benda bergerak atau berputar



- Sistem pengamanan tidak bekerja atau tidak terpasang
4. Bahaya Kimia
Bahan-bahan kimia yang dapat membahayakan keselamatan dan kesehatan pekerja adalah bahan-bahan bersifat racun dan dapat merusak kulit bila tersentuh.
 5. *Incident/Accident*. Terjadinya kontak dengan suatu benda, energi dan atau bahan *berhazard* sebagai efek dari ketiga penyebab diatas yang tidak dapat dikendalikan.
 6. *Threshold limit*. Adalah nilai ambang batas dimana ketika seluruh penyebab tadi sudah melebihi nilai yang sudah ditentukan.
 7. Kerugian. Konsekuensi dari terjadinya *incident/accident* baik terhadap manusia sebagai pekerja dan atau kerugian terhadap peralatan yang digunakan untuk menunjang pekerjaan.

Untuk meminimalkan terjadinya kecelakaan kerja ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu :

- a. Bangunan pabrik
Bangunan gedung beserta alat-alat konstruksinya harus memenuhi persyaratan yang telah direkomendasikan oleh para ahli yang bersangkutan untuk menghindari bahaya-bahaya kebakaran, perusakan akibat cuaca, gempa, petir, banjir dan lain sebagainya.
- b. Ventilasi
Ruang kerja harus cukup luas, tidak membatasi atau membahayakan gerak pekerja, serta dilengkapi dengan sistem ventilasi yang baik sesuai dengan kondisi tempat kerjanya, sehingga pekerja dapat bekerja leluasa, aman, nyaman, karena selalu mendapatkan udara yang bersih.
- c. Alat-alat bergerak
Alat-alat berputar atau bergerak seperti motor pada pompa ataupun kipas dalam *blower*, motor pada pengaduk harus selalu berada dalam keadaan tertutup, minimal diberi penutup pada bagian yang bergerak, serta harus diberi jarak yang cukup dengan peralatan yang lainnya.
- d. Peralatan yang menggunakan sistem perpindahan panas



Peralatan yang memakai sistem perpindahan panas harus diberi isolator, misalnya: *Boiler*, *Condenser*, *Heater* dan sebagainya. Disamping itu di dalam perancangan faktor keselamatan (*safety factor*) harus diutamakan, antara lain dalam hal pengelasan (pemilihan sambungan las), faktor korosi, tekanan (*stress*).

e. Sistem perpipaan

Pipa-pipa harus dipasang secara efektif supaya mudah menghantarkan fluida proses atau utilitas tanpa adanya kehilangan energi atau massa, dalam waktu yang tepat. Pipa-pipa tersebut juga harus diletakkan di tempat yang terjangkau dan aman sehingga mudah diperbaiki dan dipasang. Untuk pipa yang dilalui fluida panas harus diberi isolasi (berupa sabut atau asbes) dan diberi sambungan yang dapat memberikan fleksibilitas seperti (*U-bed*), *tee*, juga pemilihan *valve* yang sesuai untuk menghindarkan peledakan yang diakibatkan oleh pemuatan pipa

f. Sistem kelistrikan

Penerangan di dalam ruangan harus cukup baik dan tidak menyilaukan agar para pekerja dapat bekerja dengan baik dan nyaman. Setiap peralatan yang dioperasikan secara elektrik harus dilengkapi dengan pemutusan arus (sekering) otomatis serta dihubungkan dengan tanah (*ground*) dalam bentuk arde, untuk menjaga apabila sewaktu-waktu terjadi hubungan singkat. Pemeriksaan peralatan listrik secara teratur perlu dilakukan.

g. Karyawan

Seluruh karyawan dan pekerja, terutama yang menangani unit-unit vital, hendaknya diberi pengetahuan dan pelatihan khusus dalam bidang masing-masing, juga dalam bidang kesehatan dan keselamatan kerja secara umum. Disamping itu pihak pabrik harus gencar memberikan penyuluhan tentang Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3).



VII.2 Alat Pelindung Diri (APD)

Sesuai dengan Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia Nomor Peraturan 08 Tahun 2010 yang menerangkan bahwa Alat Pelindung Diri yang selanjutnya disingkat APD adalah suatu alat yang mempunyai kemampuan untuk melindungi seseorang yang fungsinya mengisolasi sebagian atau seluruh tubuh dari potensi bahaya di tempat kerja. Pengusaha wajib menyediakan APD bagi pekerja/buruh di tempat kerja dan harus sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) atau standar yang berlaku seperti yang sudah diatur dalam UU No.08 tahun 2010. APD yang dimaksud meliputi :

1. Alat Pelindung Kepala

Alat pelindung kepala adalah alat pelindung yang berfungsi untuk melindungi kepala dari benturan, terantuk, kejatuhan atau terpukul benda tajam atau benda keras yang melayang atau meluncur di udara, terpapar oleh radiasi panas, api, percikan bahan-bahan kimia dan suhu yang ekstrim. Jenis alat pelindung kepala terdiri dari helm pengaman (*safety helmet*), topi atau tudung kepala, penutup atau pengaman rambut, dan lain-lain.

2. Alat Pelindung Mata dan Muka

Alat pelindung mata dan muka adalah alat pelindung yang berfungsi untuk melindungi mata dan muka dari paparan bahan kimia berbahaya, paparan partikel-partikel yang melayang di udara dan di badan air, percikan benda-benda kecil, panas, atau uap panas, radiasi gelombang elektromagnetik, pancaran cahaya, benturan atau pukulan benda keras atau benda tajam. Jenis alat pelindung mata dan muka terdiri dari kacamata pengaman, *goggles*, tameng muka (*face shield*), masker selam, tameng muka dan kacamata pengaman dalam kesatuan (*full face masker*).

3. Alat Pelindung Telinga

Alat pelindung telinga adalah alat pelindung yang berfungsi untuk melindungi alat pendengaran terhadap kebisingan atau



tekanan. Jenis alat pelindung telinga terdiri dari sumbat telinga (*ear plug*) yang digunakan di daerah bising dengan tingkat kebisingan sampai dengan 95 dB, dan penutup telinga (*ear muff*) yang digunakan di daerah bising dengan tingkat kebisingan lebih dari 95 dB.

4. Alat Pelindung Pernafasan Beserta Perlengkapannya

Alat pelindung pernapasan beserta perlengkapannya adalah alat pelindung yang berfungsi untuk melindungi organ pernapasan dengan cara menyalurkan udara bersih dan sehat dan/atau menyaring cemaran bahan kimia, mikro-organisme, partikel yang berupa debu, kabut (*aerosol*), uap, asap, gas/fume, dan sebagainya. Jenis alat pelindung pernapasan dan perlengkapannya terdiri dari masker, respirator, katrit, *canister filter*, *Re-breather*, *Airline respirator*, *Continues Air Supply Machine (Air Hose Mask Respirator)*, tangki selam dan regulator (*Self-Contained Underwater Breathing Apparatus/SCUBA*), *Self-Contained Breathing Apparatus (SCBA)*, dan *emergency breathing apparatus*.

5. Alat Pelindung Tangan

Pelindung tangan (sarung tangan) adalah alat pelindung yang berfungsi untuk melindungi tangan dan jari-jari tangan dari pajanan api, suhu panas, suhu dingin, radiasi elektromagnetik, radiasi mengion, arus listrik, bahan kimia, benturan, pukulan dan tergores, terinfeksi zat patogen (virus, bakteri) dan jasad renik. Jenis pelindung tangan terdiri dari sarung tangan yang terbuat dari logam, kulit, kain kanvas, kain atau kain berpelapis, karet, dan sarung tangan yang tahan bahan kimia.

6. Alat Pelindung Kaki

Alat pelindung kaki berfungsi untuk melindungi kaki dari tertimpa atau berbenturan dengan benda-benda berat, tertusuk benda tajam, terkena cairan panas atau dingin, uap panas, terpajan suhu yang ekstrim, terkena bahan kimia berbahaya dan jasad renik, tergelincir. Jenis Pelindung kaki berupa sepatu keselamatan pada pekerjaan peleburan,



pengecoran logam, industri, konstruksi bangunan, pekerjaan yang berpotensi bahaya peledakan, bahaya listrik, tempat kerja yang basah atau licin, bahan kimia dan jasad renik, dan/atau bahaya binatang dan lain-lain.

7. Pakaian Pelindung

Pakaian pelindung berfungsi untuk melindungi badan sebagian atau seluruh bagian badan dari bahaya temperatur panas atau dingin yang ekstrim, api dan benda-benda panas, percikan bahan-bahan kimia, cairan dan logam panas, uap panas, benturan (*impact*) dengan mesin, peralatan dan bahan, tergores, radiasi, binatang, mikroorganisme patogen dari manusia, binatang, tumbuhan dan lingkungan seperti virus, bakteri dan jamur. Jenis pakaian pelindung terdiri dari rompi (*Vests*), celemek (*Apron/Coveralls*), Jacket, dan pakaian pelindung yang menutupi sebagian atau seluruh bagian badan.

8. Alat Pelindung Jatuh Perorangan

Alat pelindung jatuh perorangan berfungsi membatasi gerak pekerja agar tidak masuk ke tempat yang mempunyai potensi jatuh atau menjaga pekerja berada pada posisi kerja yang diinginkan dalam keadaan miring maupun tergantung dan menahan serta membatasi pekerja jatuh sehingga tidak membentur lantai dasar. Jenis alat pelindung jatuh perorangan terdiri dari sabuk pengaman tubuh (*harness*), karabiner, tali koneksi (*lanyard*), tali pengaman (*safety rope*), alat penjepit tali (*rope clamp*), alat penurun (*decender*), alat penahan jatuh bergerak (*mobile fall arrester*), dan lain-lain.

9. Pelampung

Pelampung berfungsi melindungi pengguna yang bekerja di atas air atau dipermukaan air agar terhindar dari bahaya tenggelam dan atau mengatur keterapungan (*buoyancy*) pengguna agar dapat berada pada posisi tenggelam (*negative buoyant*) atau melayang (*neutral buoyant*) di dalam air. Jenis pelampung terdiri dari jaket keselamatan (*life jacket*), rompi



keselamatan (*life vest*), rompi pengatur keterapungan (*bouyancy control device*).

VII.3 Instalasi Pemadam Kebakaran

Unit Pemadam Kebakaran mutlak untuk setiap pabrik karena bahaya kebakaran mungkin terjadi dimanapun, terutama di tempat-tempat yang mempunyai instalasi pelistrikan. Kebakaran dapat disebabkan karena adanya api kecil, kemudian secara tidak terkontrol dapat menjadi kebakaran besar. Untuk meminimalkan kerugian material akibat bahaya kebakaran ini setiap pabrik harus memiliki dua macam instalasi pemadam kebakaran, yaitu :

- Instalasi tetap : *hydran, sprinkel, dry chemical power*
- Instalasi tidak tetap : *fire extinguisher*

Untuk instalasi pemadam tetap perangkatnya tidak dapat dibawa-bawa, diletakkan ditempat-tempat tertentu yang rawan bahaya kebakaran, misalnya: dekat reaktor, *boiler*, diruang operasi (Operasi Unit), atau *power station*. Sedangkan instalasi pemadam kebakaran tidak tetap perangkatnya dapat dibawa dengan mudah ke tempat dimana saja.

VII.4 Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Area Pabrik *Formaldehyde*

VII.4.1 Sistem yang Digunakan pada Pabrik *Formaldehyde*

1. Sistem Manajemen

Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 50 Tahun 2012 tentang Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja yang menjelaskan bahwa Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja yang selanjutnya disingkat SMK3 adalah bagian dari sistem manajemen perusahaan secara keseluruhan dalam rangka pengendalian resiko yang berkaitan dengan kegiatan kerja guna terciptanya tempat kerja yang aman, efisien dan produktif. Adapun tujuan dari penerapan SMK3 bertujuan untuk :



- a. Meningkatkan efektifitas perlindungan keselamatan dan kesehatan kerja yang terencana, terukur, terstruktur dan terintegrasi.
 - b. Mencegah dan mengurangi kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja dengan melibatkan unsur manajemen, pekerja/buruh, dan/atau serikat pekerja/serikat buruh
 - c. Menciptakan tempat kerja yang aman, nyaman dan efisien untuk mendorong produktivitas.
2. Sistem Komunikasi
Yaitu tersedianya alat komunikasi yang menghubungkan antar unit baik dengan sistem telepon maupun dengan sistem *wireless* yang di *setting* berdasarkan tempat-tempat yang telah ditentukan untuk *start*, *stop*, dan *emergency* pengoperasian.
 3. Sistem Alarm Pabrik
Sistem alarm dalam pabrik digunakan untuk mendeteksi asap jika terjadi kebakaran atau tanda bahaya. Sehingga apabila terjadi bahaya sewaktu-waktu pada karyawan dapat segera mengetahui.
 4. Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD)



VII.4.3 Keselamatan dan Kesehatan Kerja di Pabrik *Formaldehyde*

Tabel 7.1 Keselamatan dan Kesehatan Kerja di Pabrik
Formaldehyde

| No. | Daerah | Bahaya | Alat Pelindung diri |
|-----|-----------|--|--|
| 1. | Perpipaan | <ul style="list-style-type: none">• Kebocoran pipa, sehingga aliran panas steam ataupun bahan panas dapat keluar | <ul style="list-style-type: none">• <i>Safety helmet</i> (melindungi kepala dari benturan/ kejatuhan benda-benda keras)• <i>Welding glass</i> (menggunakan <i>welding glass</i> yang dapat melindungi mata jika terjadi kebocoran pipa)• <i>Air respirator</i>• <i>Safety shoes</i> (menggunakan sepatu yang tahan terhadap bahaya kejatuhan benda-benda berat, percikan aliran panas)• Pakaian pelindung (<i>cattle pack</i>) |



BAB VII Keselamatan dan Kesehatan Kerja

| | | | |
|----|--------|---|--|
| 2. | Pompa | <ul style="list-style-type: none"> • Menimbulkan kebisingan • Terjadi kebocoran | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Safety helmet</i> • <i>Welding glass</i> • <i>Ear muff</i> • <i>Air respirator</i> • Sepatu (<i>safety shoes</i>) • Pakaian pelindung (<i>cattle pack</i>) • Sarung tangan (menggunakan sarung tangan yang terbuat dari karet untuk melindungi dari bahaya listrik, larutan asam maupun basa) |
| 3. | Heater | <ul style="list-style-type: none"> • Menimbulkan panas • Terjadi kebocoran | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Safety helmet</i> • <i>Welding glass</i> • <i>Air respirator</i> • Sarung tangan • <i>Safety shoes</i> (menggunakan sepatu yang tahan terhadap bahaya kejatuhan benda-benda berat, percikan aliran panas) • Pakaian pelindung (<i>cattle pack</i>) |



| | | | |
|----|----------|---|---|
| 4. | Reaktor | <ul style="list-style-type: none">• Bertemperatur tinggi• Berisi gas berbahaya• Terjadi kebocoran | <ul style="list-style-type: none">• <i>Safety helmet</i>• <i>Welding glass</i>• <i>Air respirator</i>• Sarung tangan• Sepatu (<i>safety shoes</i>)• Pakaian pelindung/ <i>cattle pack</i> (melindungi badan dari radiasi panas perpipaan yang mempunyai suhu lebih dari 100°C, dan dapat melindungi dari percikan bahan yang korosif dan aliran panas) |
| 5. | Absorber | <ul style="list-style-type: none">• Terjadi kebocoran• Berisi zat yang cukup berbahaya | <ul style="list-style-type: none">• <i>Safety helmet</i>• <i>Welding glass</i>• <i>Air respirator</i>• Sarung tangan (menggunakan sarung tangan yang terbuat dari karet untuk melindungi dari bahaya listrik, larutan asam maupun basa)• Sepatu• Pakaian |



BAB VII Keselamatan dan Kesehatan Kerja

| | | | |
|----|--------------------|---|--|
| | | | pelindung (<i>cattle pack</i>) |
| 6. | Tangki Penampung | <ul style="list-style-type: none"> • Terjadi kebocoran • Berisi zat yang cukup berbahaya • Mudah meledak | <ul style="list-style-type: none"> • Pemberian label dan spesifikasi bahannya • Pengecekan secara berkala oleh petugas K3 • <i>Air respirator</i> • Pakaian pelindung (<i>cattle pack</i>) |
| 7. | Bahan Baku Metanol | <ul style="list-style-type: none"> • Mudah terbakar • Korosif • Bau menyengat | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Air respirator</i> tahan bahan kimia yang lengkap (pelindung wajah penuh dan selongsong untuk uap organik) • Pelindung mata (menggunakan kacamata yang tahan pecahan yang dilengkapi dengan pelindung wajah, menyediakan kran air pencuci mata untuk keadaan darurat) • Pakaian |



| | | | |
|----|--------------------|--|---|
| | | | <p>pelindung (menggunakan pakaian pelindung tahan bahan kimia yang sesuai)</p> <ul style="list-style-type: none">• Sarung tangan (menggunakan sarung tangan karet/ yang tahan bahan kimia)• Sepatu (menggunakan sepatu tahan bahan kimia yang sesuai) |
| 8. | Produk Formaldehid | <ul style="list-style-type: none">• Mudah terbakar• Korosif• Bau menyengat• Toksik bagi kehidupan | <ul style="list-style-type: none">• Menyediakan peralatan penyedot udara (sistem ventilasi proses tertutup)• <i>Air respirator</i> tahan bahan kimia yang lengkap (pelindung wajah penuh dan selongsong untuk uap organik)• Pelindung mata (menggunakan kacamata yang tahan pecahan yang dilengkapi |



BAB VII Keselamatan dan Kesehatan Kerja

| | | | |
|----|--------------------|--|---|
| | | | <p>dengan pelindung wajah, menyediakan kran air pencuci mata untuk keadaan darurat)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pakaian pelindung (menggunakan pakaian pelindung tahan bahan kimia yang sesuai) • Sarung tangan (menggunakan sarung tangan karet/ yang tahan bahan kimia) • Sepatu (menggunakan sepatu tahan bahan kimia yang sesuai) |
| 9. | Secara keseluruhan | | <ul style="list-style-type: none"> • Menyediakan jalan diantara <i>plant-plant</i> yang berguna untuk kelancaran transportasi para pekerja serta memudahkan pengendalian pada saat keadaan darurat |

*BAB VII Keselamatan dan Kesehatan Kerja*

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | <ul style="list-style-type: none">• Menyediakan <i>hydrant</i> di setiap <i>plant</i> (unit) untuk menanggulangi/ pencegahan awal pada saat terjadi kebakaran• Memasang alarm di setiap <i>plant</i> (unit) sebagai tanda adanya peringatan awal adanya keadaan darurat• Menyediakan pintu dan tangga darurat yang dapat digunakan sewaktu-waktu pada saat terjadi keadaan darurat |
|--|--|--|--|

BAB VIII INSTRUMENTASI

VIII.1 INSTRUMENTASI SECARA UMUM

Instrumentasi merupakan sistem dan susunan yang dipakai di dalam suatu proses kontrol untuk mengatur jalannya proses agar diperoleh hasil sesuai dengan yang diharapkan. Di dalam suatu pabrik kimia, pemakaian instrumen merupakan suatu hal yang penting karena dengan adanya rangkaian instrumen tersebut maka operasi semua peralatan yang ada di dalam pabrik dapat dimonitor dan dikontrol dengan cermat, mudah dan efisien. Dengan demikian, kondisi operasi selalu berada dalam kondisi yang diharapkan (*Ulrich, 1984*).

Secara garis besar, alat-alat kontrol dapat diklasifikasikan atas:

a. Penunjuk (*Indicator*)

Indicator adalah suatu alat yang (biasanya terletak pada tempat dimana pengukuran untuk proses tersebut dilakukan) memberikan harga dari besaran (variabel) yang diukur. Besaran ini merupakan besaran sesaat.

b. Pengirim (*Transmitter*)

Salah satu elemen dari sistem pengendalian proses. Untuk mengukur besaran dari suatu proses digunakan alat ukur yang disebut sebagai sensor (bagian yang berhubungan langsung dengan medium yang diukur), dimana transmitter kemudian mengubah sinyal yang diterima dari sensor menjadi sinyal standart. Transmitter adalah alat yang mengukur harga dari suatu besaran seperti suhu, tinggi permukaan dan mengirim sinyal yang diperolehnya keperalatan lain misal recorder, indicator atau alarm.

c. Pencatat (*Recorder*)

Recorder (biasanya terletak jauh dari tempat dimana besaran proses diukur), bekerja untuk mencatat harga-harga yang diperoleh dari pengukuran secara kontinyu atau secara periodik.



d. Pengatur (*Controller*)

Controller adalah suatu alat yang membandingkan harga besaran yang diukur dengan harga sebenarnya yang diinginkan bagi besaran itu dan memberikan sinyal untuk pengkoreksian kesalahan, jika terjadi perbedaan antara harga besaran yang diukur dengan harga besaran yang sebenarnya.

e. Katup pengatur (*Control valves*)

Sinyal koreksi yang dihasilkan oleh *controller* berfungsi untuk mengoperasikan *control valve* untuk memperbaiki atau meniadakan kesalahan tersebut. Biasanya *controller* ditempatkan jauh dari tempat pengukuran. *Controller* juga dapat berfungsi (dilengkapi) untuk dapat mencatat atau mengukur.

Instrumentasi selain digunakan untuk mengetahui kondisi operasi juga berfungsi untuk mengatur nilai-nilai variabel proses, baik secara manual maupun secara otomatis untuk mengingatkan operator akan kondisi yang kritis dan berbahaya. Tujuan dari pemasangan alat instrumentasi bagi perencanaan suatu pabrik sebagai berikut:

1. Untuk menjaga proses instrumentasi agar tetap aman, yaitu dengan cara:
 - Mendeteksi adanya kondisi yang berbahaya sedini mungkin, dan membuat tanda-tanda bahaya secara *interlock* otomatis jika kondisi kritis muncul.
 - Menjaga variabel-variabel proses benda pada batas kondisi yang aman.
2. Menjaga jalannya suatu proses produksi agar sesuai dengan yang dikehendaki.
3. Menekan biaya produksi serendah mungkin dengan tetap memperhatikan faktor-faktor yang lainnya atau efisiensi kerja.
4. Menjaga kualitas agar tetap berada dalam standar yang ditetapkan.
5. Memperoleh hasil kerja yang efisien.



6. Membantu dalam keselamatan kerja bagi pekerja dan karyawan pabrik.

Pengendalian variabel proses dapat dilakukan secara manual maupun secara otomatis. Pengaturan secara manual, biasanya peralatan yang dikontrol hanya diberi instrument penunjuk atau pencatan saja, sedangkan untuk pengendalian secara otomatis diperlukan beberapa elemen, yaitu :

1. Sensor

Sensor adalah suatu alat yang sangat sensitif terhadap perubahan besaran fisik yang terjadi dalam suatu proses.

2. Elemen penguat

Elemen penguat berfungsi untuk mengubah perubahan besaran fisik yang dideteksi oleh sensor menjadi signal yang dapat dibaca oleh *controller*.

3. *Controller*

Controller merupakan elemen yang berfungsi mengatur besaran proses agar tetap sesuai dengan kondisi yang dikehendaki (sesuai dengan set point yang diinginkan) agar peralatan produksi dapat beroperasi secara optimum.

4. Element pengontrol akhir

Element yang berfungsi untuk mewujudkan signal koreksi dari *controller* menjadi aksi yang dapat mengembalikan kondisi variabel proses ke harga yang telah ditetapkan.

Faktor-faktor yang diperlukan dalam pemilihan instrumentasi adalah:

- *Sensitivity*
- *Readability*.
- *Accuracy*
- *Precision*
- Bahan konstruksi serta pengaruh pemasangan peralatan instrumentasi pada kondisi proses.
- Faktor – faktor ekonomi



VIII.2 METODE DAN JENIS INSTRUMENTASI

Metode pengontrolan yang sering digunakan dalam pabrik industri kimia dapat dilakukan dengan berbagai cara, yang antara lain adalah sebagai berikut :

- a. Secara manual
Alat ukur ini dikontrol oleh manusia, hanya berdasarkan pada pengamatan saja. Cara ini kurang baik karena ketelitian dari manusia yang terbatas
- b. Secara otomatis
Alat pengontrol secara otomatis ini ada bermacam-macam cara pengontrolannya, antara lain :
 - ☐ Sistem on-off control
 - ☐ Sistem proportional
 - ☐ Sistem proportional integral
 - ☐ Sistem proportional integral derivative

Alat-alat kontrol yang banyak digunakan dalam bidang industri adalah :

1. Pengatur suhu :
 - a. *Temperature Indicator (TI)*
Fungsi : untuk mengetahui temperatur operasi pada alat dengan pembacaan langsung pada alat ukur tersebut. Jenis temperatur indikator antara lain : termometer , termokopel
 - b. *Temperatur Controller (TC)*
Fungsi : mengendalikan atau mengatur temperatur operasi sesuai dengan kondisi yang diminta.
 - c. *Temperature Recorder Controlller (TRC)*
Fungsi : untuk mencatat dan mengendalikan temperatur operasi.
2. Pengaturan Tekanan (*Pressure*)
 - a. *Pressure Indicator (PI)*
Fungsi : untuk mengetahui tekanan operasi pada alat dengan pembacaan langsung pada alat ukur tersebut. Jenis *pressure* indikator antara lain : *pressure gauge*



- b. *Pressure Controlller (PC)*
Fungsi : mengendalikan atau mengatur tekanan operasi sesuai dengan kondisi yang diminta.
- c. *Pressure Recorder Controller (PRC)*
Fungsi : untuk mencatat dan mengatur tekanan dalam alat secara terus menerus sesuai dengan kondisi yang diminta.
- 3. Pengatur Aliran (*Flow*)
 - a. *Flow Controller (FC)*
Fungsi : Menunjukkan dan mengendalikan laju suatu aliran dalam suatu peralatan seperti yang telah ditetapkan.
Jenis *flow controller* yaitu *Control valve*.
 - b. *Flow Recorder Controller (FRC)*
Fungsi : untuk mencatat dan mengatur debit aliran cairan secara terus menerus.
- 4. Pengaturan tinggi permukaan (“*level*”) :
 - a. *Level indicator (LI)*
Fungsi : menunjukkan tinggi permukaan fluida pada suatu cairan.
 - b. *Level Indicator Control (LIC)*
Fungsi : Sebagai alat penunjukkan untuk mengetahui ketinggian operasi dan untuk mengendalikan atau mengatur level operasi agar sesuai dengan kondisi yang diinginkan.
 - c. *Level Recorder Controller (LRC)*
Fungsi : untuk mencatat dan mengatur, serta mengendalikan tinggi cairan dalam suatu alat.

**VIII.3 PADA PABRIK *FORMALDEHYDE***

Sistem instrumentasi yang dipasang dalam Pabrik Formaldehid Dari Metanol Dan Udara Dengan Menggunakan Proses Haldor Topsoe (*Mixed Oxide Catalyst*)

Tabel 8.1 Instrumentasi dalam Pabrik *Formaldehyde*

| No. | Nama Alat | Kode Alat | Instrumentasi |
|-----|--------------------|----------------|--|
| 1. | Tangki penyimpanan | F-111 F-322 | <i>Level Control (LC)</i> |
| 2. | <i>Vaporizer</i> | V-110 | <i>Temperature Control (TC)</i> |
| 3. | <i>Heater</i> | E-211 E-212 | <i>Temperature Control (TC)</i> |
| 4. | Reaktor | R-210 | <i>Level Control (LC)</i> <i>Temperature Control (TC)</i> <i>Flow Control (FC)</i> |
| 5. | WHB | E-213 | <i>Temperature Control (TC)</i> |
| 6. | <i>Absorber</i> | D-310 | <i>Level Control (LC)</i> |
| 7. | <i>Cooler</i> | E-311 | <i>Temperature Control (TC)</i> |

BAB IX

PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI KIMIA

IX.1 PENGOLAHAN LIMBAH SECARA UMUM

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 Tahun 2014 menjelaskan bahwa limbah adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan. Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun yang selanjutnya disebut Limbah B3 adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung B3. Sedangkan B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun adalah zat, energi, dan/atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi, dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusak lingkungan hidup, dan/atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, serta kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lain. Pengelolaan limbah B3 adalah kegiatan yang meliputi pengurangan, penyimpanan, pengumpulan, pengangkutan, pemanfaatan, pengolahan, dan/atau penimbunan. Kemudian dijelaskan mengenai kewajiban untuk melakukan pengelolaan B3 merupakan upaya untuk mengurangi terjadinya kemungkinan risiko terhadap lingkungan hidup yang berupa terjadinya pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup, mengingat B3 mempunyai potensi yang cukup besar untuk menimbulkan dampak negatif.

Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun yang selanjutnya disebut Limbah B3 adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung B3. Pengolahan Limbah B3 adalah proses untuk mengurangi dan/atau menghilangkan sifat bahaya dan/atau sifat racun. Upaya pengelolaan limbah dapat dilakukan dengan melaksanakan konsep 4R, yaitu:

- *Reduce*, minimalisasi sampah dari sumber
- *Reuse*, memanfaatkan kembali sampah
- *Recovery*, melakukan upaya untuk perolehan kembali bahan-bahan yang berguna.
- *Recycle*, melakukan pemrosesan sehingga menghasilkan produk lainnya



Pengendalian pencemaran akan membawa dampak positif bagi lingkungan karena akan menyebabkan kesehatan masyarakat yang lebih baik, kenyamanan hidup lingkungan sekitar yang lebih tinggi, kerusakan materi yang rendah, dan yang penting adalah kerusakan lingkungan yang rendah. Faktor utama yang harus diperhatikan dalam pengendalian pencemaran ialah karakteristik dari pencemar dan hal tersebut bergantung pada jenis dan konsentrasi senyawa yang dibebaskan ke lingkungan, kondisi geografis sumber pencemar, dan kondisi meteorologis lingkungan.

Dalam pabrik *Formaldehyde* selama proses produksi menghasilkan limbah yang perlu diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Limbah yang dihasilkan ada 2 macam yaitu :

1. Limbah Cair

Limbah cair yang dihasilkan dari air buangan akhir proses, air buangan dari pemakaian sanitasi, dan sisa pencucian mesin dan peralatan pabrik, seperti oli atau minyak pelumas bekas. Dari limbah tersebut, akan menimbulkan jumlah BOD dan COD meningkat serta terdapat beberapa limbah yang termasuk ke dalam golongan limbah B3 sehingga berbahaya apabila langsung dibuang ke lingkungan, oleh karena itu perlu pengolahan terlebih dahulu untuk mengatasi limbah tersebut.

2. Limbah gas

Limbah gas dihasilkan dari *off gas* absorber. *Off gas* absorber mengandung oksigen (O_2), nitrogen (N_2), karbon dioksida (CO_2), dan karbon monoksida (CO).



IX.2 PENGOLAHAN LIMBAH PADA PABRIK FORMALDEHYDE

1. Pengolahan Limbah Cair

a. Pengolahan limbah minyak pelumas bekas

Pengolahan limbah cair berupa oli dapat dilakukan dengan cara mendaur ulang oli bekas menjadi pelumas dasar. Pengolahan ini dilakukan oleh perusahaan pengolah oli bekas. Sehingga pada pabrik *formaldehyde*, oli bekas yang telah digunakan untuk mesin pabrik ditampung pada tempat khusus.

Oli bekas harus ditampung pada tempat khusus dan terhindar dari kotoran lainnya sebab oli ini akan didaur ulang. Tercampurnya oli bekas dengan sampah lain akan menurunkan kualitasnya dan meningkatkannya biaya untuk proses pemurniannya.

Alat penampung oli harus dibuat dari bahan yang tahan terhadap karat dan tertutup rapat serta diberi label yang jelas. Dalam jangka waktu tertentu oli bekas ini dapat dijual ke para pengumpul oli bekas yang selanjutnya akan dikirim ke perusahaan pengolah oli.

2. Pengolahan Limbah Gas

Sebagian jenis gas dapat dipandang sebagai pencemar udara terutama apabila konsentrasi gas tersebut melebihi tingkat konsentrasi normal. Senyawa pencemar udara itudigolongkan menjadi:

- Senyawa pencemar primer adalah senyawa pencemar yang langsung dibebaskan dari sumber.
- Senyawa pencemar sekunder adalah senyawa pencemar yang baru terbentuk akibat terjadinya reaksi antara dua atau lebih senyawa primer selama berada di atmosfer.

Limbah gas hasil buangan absorber dibakar melalui *flare stack*.

BAB X

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan perencanaan “Pabrik *Formaldehyde* dari Metanol dan Udara dengan Proses *Haldor Topsoe (Mixed Oxide Catalyst)*, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Rencana Operasi
Pabrik Formaldehid ini direncanakan beroperasi secara kontinyu selama 300 hari/tahun, 24 jam/hari.
2. Kapasitas Produksi
Kapasitas produksi pabrik formaldehid ini sebesar 70.000 ton/tahun = 233 ton/hari = 9,7 ton/jam
3. Bahan baku dan bahan pendukung
Bahan baku utama :
 - Metanol yang diperlukan sebesar 2589,03 kg/jam
 - Udara yang diperlukan sebesar 7249,28 kg/jamBahan baku pendukung
 - Katalis Iron dan Molibdenum
4. Produk
Produk utama :
 - Produk utama yang dihasilkan berupa *formaldehyde* dengan *yield* sebesar 94%
5. Utilitas
 - Air sanitasi yang diperlukan sebesar 43013,38 kg/hari
 - Air *make up* pendingin yang diperlukan sebesar 250119,86 kg/hari
 - Air umpan boiler yang diperlukan sebesar 152829,36 kg/hari
 - Air Proses yang diperlukan sebesar 121149,36 kg/hari
6. Pengolahan Limbah
 - Limbah cair berupa oli bekas pelumas
 - Limbah padat berupa katalis pada reaktor
 - Limbah gas berupa *off gas absorber*

DAFTAR NOTASI

| No | Notasi | Keterangan | Satuan |
|----|--------------|-----------------------|---------------------------|
| 1 | M | massa | kg |
| 2 | N | mol | mol |
| 3 | BM | Beratmolekul | g/kmol |
| 4 | T | Suhu | °C/°F |
| 5 | cp | Heat Capacity | kcal/kg°C |
| 6 | ΔH_f | Enthalpy pembentukan | kcal/kmol |
| 7 | ΔH_f | Enthalpy product | kcal |
| 8 | H | Enthalpy | kcal |
| 9 | Hv | Enthalpy vapor | kcal/kg |
| 10 | HI | Enthalpy liquid | kcal/kg |
| 11 | Ms | Massa Steam | kg |
| 12 | Q | Panas | kcal |
| 13 | ρ | Densitas | gr/cm ³ |
| 14 | η | Efisiensi | % |
| 15 | μ | Viscositas | Cp |
| 16 | D | Diameter | In |
| 17 | H | Tinggi | In |
| 18 | P | Tekanan | atm/psia |
| 19 | R | Jari-jari | In |
| 20 | Ts | Tebaltangki | In |
| 21 | C | FaktorKorosi | - |
| 22 | E | Efisiensiamungan | - |
| 23 | Th | Tebaltutupatas | In |
| 24 | ΣF | Total friksi | - |
| 25 | Hc | Sudden contraction | ft.lbf/lbm |
| 26 | Ff | Friction loss | ft.lbf/lbm |
| 27 | h_{ex} | Seddenexpansion | ft.lbf/lbm |
| 28 | gc | Gravitasi | Lbm.ft/lbf.s ² |
| 29 | A | Luas perpindahanpanas | ft ² |
| 30 | a | Area aliran | ft ² |
| 31 | B | Baffle spacing | in |

| No | Notasi | Keterangan | Satuan |
|----|-----------------|------------------------|---|
| 32 | f | Faktor friksi | ft^2/in^2 |
| 33 | G | Massa velocity | $\text{Lb}/(\text{hr})(\text{ft}^2)$ |
| 34 | h_{ex} | Sudden expansion | ft.lbf/lbm |
| 35 | gc | Gravitasi | Lbm.ft/lbf.s^2 |
| 27 | A | Luas perpindahan panas | ft^2 |
| 28 | a | Area aliran | ft^2 |
| 29 | B | Baffle spacing | in |
| 30 | F | Faktor friksi | ft^2/in^2 |
| 31 | G | Massa velocity | $\text{Lb}/(\text{hr})(\text{ft}^2)$ |
| 32 | k | Thermal conductivity | $\text{Btu}/(\text{hr})(\text{ft}^2)(^\circ\text{F}/\text{ft})$ |

DAFTAR PUSTAKA

- Bedino, J. H. (2004). Formaldehyde Exposure Hazards and Health Effects: A Comprehensive Review for Embalmers. *Research and Education Department, The Champion Company*, 2633-2649.
- Brownell and Young. (1959). Process Equipment Design Vessel Design. United State of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Cheng, W.-H. (1994). *Methanol Production and Use*. New York: Marcel Dekker, INC.
- Geankoplis, C. J. (1978). Transport Process and Unit Operation 3rd Edition. United State of America: Prentice-Hall, Inc.
- Himmelblau, D. M. (1962). Basic Principles And Calculation In Chemical Engineering. United State of America: Prentice-Hall, Inc.
- Hougen, O. A. (1948). Chemical Process Principles Part I Second Edition. United State of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Hasfita, F. (2013). Pengaruh Temperatur reaksi terhadap Aktivitas Katalis Besi Molibdenum Oksida Berpromotor Kromium Oksida. *Advanced Materials*, 24-28.
- Kern, D. Q. (1965). Process Heat Transfer. Singapore: McGrawHill.
- Ludwig, E. E. (1999). Applied Process Design For Chemical and Petrochemical Plants Vol 1 Third Edition. United State of America: Gulf Publishing Company.
- Ludwig, E. E. (1999). Applied Process Design For Chemical and Petrochemical Plants Volume 3 Third Edition. United State of America: Gulf Publishing Company.
- McKetta, J. J. (1983). *Encyclopedia of Chemical Processing and Design, volume 23*. New York: Executive Editor.
- Othmer, Kirk. (1997). *Encyclopedia of Chemical Technology, volume 11*. New York: Wiley
- Perry, R. H. (1934). Perry's Chemical Engineers' Handbook 8th Edotion. New York: McGraw-Hill.

- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 07 Tahun 2007 Tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Ketel Uap
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 Tahun 2014 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun
- Peraturan Menteri Tenaga Kerja Dan Transmigrasi Republik Indonesia Nomor PER.08/MEN/VII/2010 Tentang Alat Pelindung Diri
- Peters and Timmerhaus. (1991). *Plant Design and Economics For Chemical Engineers* Fourth Edition. Singapore: McGraw-Hill, Inc
- Safriet, D. (1991). *Locating and Estimating Air Emissions from Sources Of Formaldehyde*. United States: EPA Project Officer.
- Seader, J. D., & Henley, E. J. (2006). *Separation Process Principles* 2nd Edition. John Wiley & Sons, Inc.
- Smith, J. M., Ness, H. C., & Abbott, M. M. (2001). *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics* 6th Edition. New York: Mc Graw Hill.
- Ullmann, F. (1987). *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, volume 15*. New York: VCH.
- Ulrich, G. D. (1984). *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. United State of America: Jhon Wiley & Sons, Inc.
- Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja
- www.alibaba.com
- www.matche.com
- www.sciecelab.com

APPENDIX A

PERHITUNGAN NERACA MASSA

1 tahun operasi = 330 hari
 1 hari operasi = 24 jam
 Basis = 1 jam

Perhitungan kebutuhan bahan baku menggunakan basis 1000 kg/jam diperoleh produk sebesar 898,37 kg/jam, untuk memproduksi 8838,4 kg/jam maka bahan baku yang dibutuhkan adalah sebesar 9838,3 kg/jam

Kapasitas produksi = 70000 ton/tahun
 = 212121,2 kg/hari
 = 8838,4 kg/jam

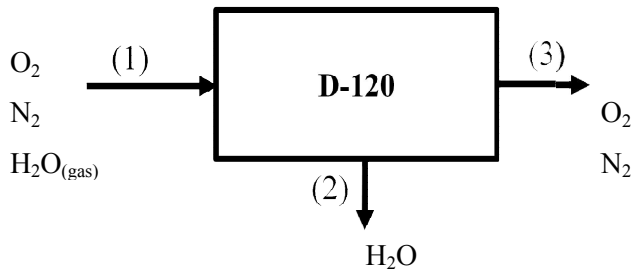
Penentuan kebutuhan bahan baku menggunakan basis = 1000 kg/jam
 Hasil produk basis = 898,4 kg/jam
 Kapasitas bahan baku = 9838,3 kg/jam

Tabel A.1 Berat Molekul Komponen

| Komponen | BM (kg/kmol) |
|--------------------------------|--------------|
| H ₂ O | 18 |
| O ₂ | 32 |
| N ₂ | 28 |
| CO | 28 |
| CO ₂ | 44 |
| CH ₃ OH | 32 |
| CH ₂ O | 30 |
| CH ₂ O ₂ | 46 |
| NaOH | 40 |

1. Dehumidifier

Fungsi : Mengubah udara basah menjadi udara kering (suhu 30°C)



Menurut McKetta vol. 23 perbandingan kebutuhan metanol dan udara untuk proses pembuatan formaldehyde adalah 1:2,8

Maka feed udara yang masuk adalah $= 2,8/3,8 \times \text{feed}$
 $= 2,8/3,8 \times 9838,3 \text{ kg/jam}$
 $= 7249,28 \text{ kg/jam}$

Berdasarkan Humidity Chart Figure 9.3-2 hal 568 Geankoplis, humidity dari udara adalah 0,023

Asumsi efisiensi dehumifier adalah 80%

Dari data yang telah didapatkan di atas, maka volume humidity tersebut adalah

$$\begin{aligned}
 &= (2,83 \times 10^{-3}) + 4,56 \times 10^{-3} \times H) T \\
 &= ((2,83 \times 10^{-3}) + 4,56 \times 10^{-3} \times 0,023) \times 303) \text{ m}^3/\text{kg} \\
 &= 0,94 \quad \text{kg}
 \end{aligned}$$

Berat udara kering

$$\begin{aligned}
 &\text{feed udara masuk} - V \text{ udara kering} \\
 &= 7249,27 - 0,94
 \end{aligned}$$

$$= 7248,33 \text{ kg/jam}$$

Berat O₂

$$(21/100) \times \text{feed udara kering}$$

$$= (21/100) \times 7249,27$$

$$= 1522,35 \text{ kg/jam}$$

Berat N₂

$$(79/100) \times \text{feed udara kering}$$

$$= (79/100) \times 7249,27$$

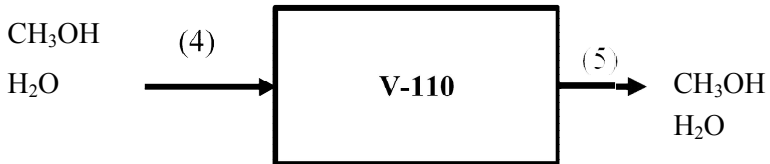
$$= 5726,93 \text{ kg/jam}$$

Tabel A.2 Neraca Massa pada Dehumidifier

| Komponen | Aliran Masuk | | Komponen | Aliran keluar | |
|------------------|--------------|--------|------------------|---------------|--------|
| | Aliran (1) | | | Aliran (2) | |
| | kg | kmol | | kg | kmol |
| H ₂ O | 0,94 | 0,05 | H ₂ O | 0,94 | 0,05 |
| O ₂ | 1522,35 | 47,57 | | | |
| N ₂ | 5726,93 | 204,53 | | Aliran (3) | |
| | | | O ₂ | 1522,35 | 47,57 |
| | | | N ₂ | 5726,93 | 204,53 |
| | | | | | |
| Total | 7250,22 | 252,16 | Total | 7250,22 | 252,16 |

2. Vaporizer

Fungsi : Mengubah fase metanol *liquid* menjadi fase *vapor*



Tabel A.3 Komposisi Metanol

| Komponen | Fraksi massa |
|--------------------|--------------|
| CH ₃ OH | 0,9985 |
| H ₂ O | 0,0015 |

$$\begin{aligned}
 \text{Feed metanol yang masuk adalah} &= 1/3,8 \times \text{feed} \\
 &= 2589,03 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Komponen CH₃OH dalam feed

Fraksi massa x feed

$$\begin{aligned}
 &= 0,9985 \times 2589,0 \\
 &= 2585,14 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

$$\text{Asumsi komponen CH}_3\text{OH berubah menjadi vapor} = 100\%$$

Komponen CH₃OH yang berubah fase

$$\begin{aligned}
 &= 100\% \times \text{komponen CH}_3\text{OH dalam feed} \\
 &= 100\% \times 2585,14 \\
 &= 2585,143 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Komponen H₂O dalam feed

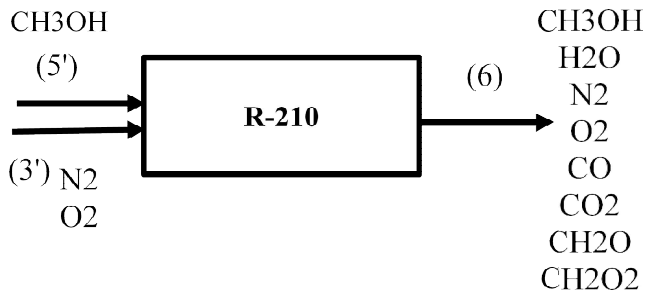
$$\begin{aligned}
 & \text{Fraksi mass x feed} \\
 & = 0,0015 \quad \times \quad 2589,03 \\
 & = 3,8835 \quad \text{kg/jam} \\
 & \text{Asumsi komponen H}_2\text{O tidak ikut berubah fase}
 \end{aligned}$$

Tabel A.4 Neraca Massa pada Vaporizer

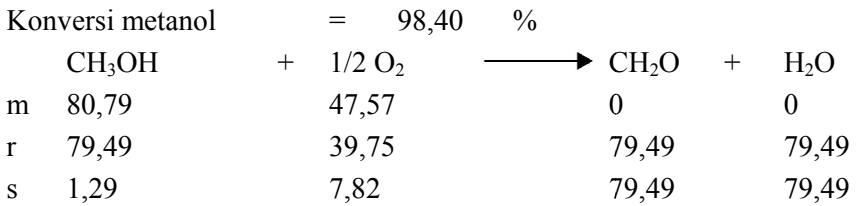
| Komponen | Aliran Masuk | | Komponen | Aliran keluar | |
|--------------------|----------------|--------------|--------------------|----------------|--------------|
| | Aliran (4) | | | Aliran (5) | |
| | kg | kmol | | kg | kmol |
| CH ₃ OH | 2585,15 | 80,79 | CH ₃ OH | 2585,15 | 80,79 |
| H ₂ O | 3,88 | 0,22 | H ₂ O | 3,88 | 0,22 |
| Total | 2589,03 | 81,00 | Total | 2589,03 | 81,00 |

3. Reaktor

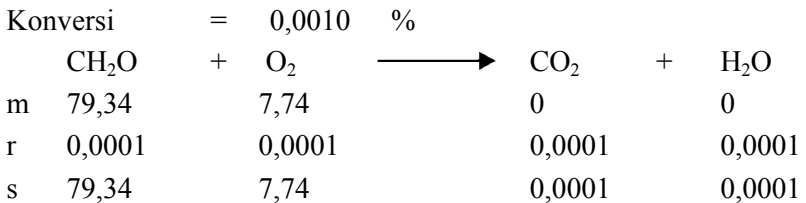
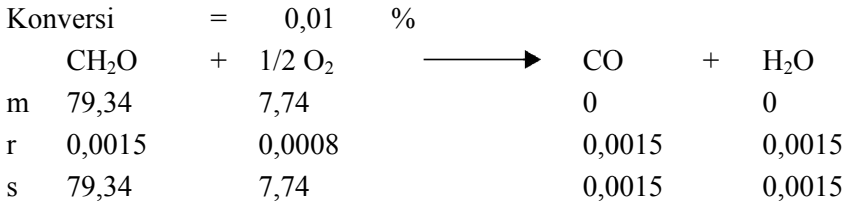
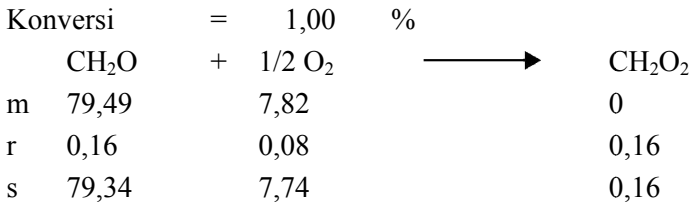
Fungsi : Mereaksikan metanol fase vapor dan udara dengan bantuan katalis Iron Molybdenum



Reaksi utama



Reaksi samping

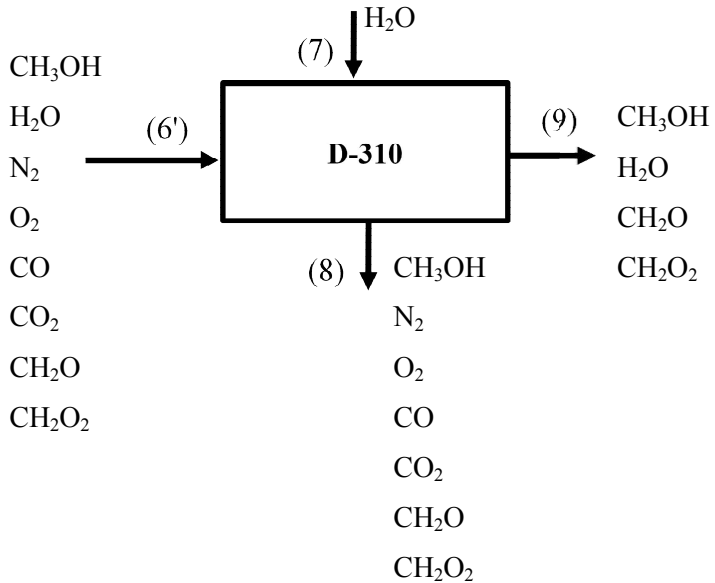


Tabel A.5 Neraca Massa pada Reaktor

| Komponen | Aliran Masuk | | Komponen | Aliran keluar | |
|--------------------|--------------|--------|--------------------------------|---------------|--------|
| | Aliran (3') | | | Aliran (6) | |
| | kg | kmol | | kg | kmol |
| O ₂ | 1522,14 | 47,57 | CH ₃ OH | 41,36 | 1,29 |
| N ₂ | 5726,16 | 204,51 | N ₂ | 5726,16 | 204,51 |
| | | | O ₂ | 247,72 | 7,74 |
| | Aliran (5') | | CO ₂ | 0,0034 | 0,0001 |
| CH ₃ OH | 2585,15 | 80,79 | CO | 0,0434 | 0,0015 |
| H ₂ O | 3,88 | 0,22 | CH ₂ O | 2380,06 | 79,34 |
| | | | CH ₂ O ₂ | 7,19 | 0,16 |
| | | | H ₂ O | 1434,79 | 79,71 |
| | | | | | |
| Total | 9837,33 | 332,86 | Total | 9837,33 | 372,74 |

4. Absorber

Fungsi : Untuk menghilangkan gas CO, CO₂, O₂ dan N₂ yang tidak ikut bereaksi



Tabel A.6 Data kelarutan

| Komponen | Kelarutan (kg/l) | Massa Jenis |
|--------------------------------|------------------|-------------|
| CH ₃ OH | 1 | 1,11 |
| CH ₂ O | 0,55 | 1,08 |
| CH ₂ O ₂ | 1 | 1,59 |

Berdasarkan Pubchem

Dengan asumsi efisiensi absorber yang terserap adalah 97% dan udara tidak terserap oleh air karena kelarutannya sangat kecil. Maka,

CH_3OH yang terserap

$$\begin{aligned} &= 97\% \times \text{berat feed } \text{CH}_3\text{OH} \text{ masuk absorber} \\ &= 97\% \times 41,36 \\ &= 40,12 \end{aligned}$$

CH_3OH yang lolos

$$\begin{aligned} &= 3\% \times \text{berat feed } \text{CH}_3\text{OH} \text{ masuk absorber} \\ &= 3\% \times 41,36 \\ &= 1,24 \end{aligned}$$

CH_2O yang terserap

$$\begin{aligned} &= 97\% \times \text{berat feed } \text{CH}_2\text{O} \text{ masuk absorber} \\ &= 97\% \times 2380,06 \\ &= 2308,6545 \end{aligned}$$

CH_2O yang lolos

$$\begin{aligned} &= 3\% \times \text{berat feed } \text{CH}_2\text{O} \text{ masuk absorber} \\ &= 3\% \times 2380,06 = \\ &= 71,4017 \end{aligned}$$

CH_2O_2 yang terserap

$$\begin{aligned} &= 97\% \times \text{berat feed } \text{CH}_2\text{O}_2 \text{ masuk absorber} \\ &= 97\% \times 7,19 \\ &= 6,9789 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{CH}_2\text{O}_2 & \text{ yang lolos} \\
 &= 3\% \times \text{berat feed CH}_2\text{O}_2 \text{ masuk absorber} \\
 &= 3\% \times 7,19 \\
 &= 0,2158
 \end{aligned}$$

Untuk kebutuhan air proses yang diinginkan adalah

$$\begin{aligned}
 &\text{Untuk CH}_3\text{OH} \\
 &= (\text{Berat feed CH}_3\text{OH yang masuk absorber/kelarutan CH}_3\text{OH}) \times \\
 &\quad \text{massa jenis CH}_3\text{OH} \\
 &= (38,53/1) \times 1,11 \\
 &= 44,535
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Untuk CH}_2\text{O} \\
 &= (\text{Berat feed CH}_2\text{O yang masuk absorber/kelarutan CH}_2\text{O}) \times \text{massa} \\
 &\quad \text{jenis CH}_2\text{O} \\
 &= (2215,18/0,55) \times 1,08 \\
 &= 4533,3578
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Untuk CH}_2\text{O}_2 \\
 &= (\text{Berat feed CH}_2\text{O}_2 \text{ yang masuk absorber/kelarutan CH}_2\text{O}_2) \times \text{massa} \\
 &\quad \text{jenis CH}_2\text{O}_2 \\
 &= (9,62/1) \times 1,59 \\
 &= 11,096
 \end{aligned}$$

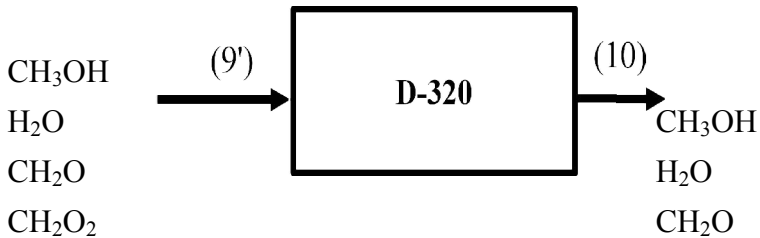
Jadi, kebutuhan air proses yang diinginkan adalah 4588,9891

Agar proses penyerapan lebih sempurna, air proses yang dibutuhkan harus 10% lebih banyak. Maka, jumlah air proses yang dibutuhkan adalah 5047,8880.

| Tabel A.7 Neraca Massa pada Absorber | | | | | |
|--------------------------------------|--------------|--------|--------------------------------|---------------|--------|
| Komponen | Aliran Masuk | | Komponen | Aliran keluar | |
| | Aliran (6') | | | Aliran (8) | |
| | kg | kmol | | kg | kmol |
| CH ₃ OH | 41,36 | 1,29 | CH ₃ OH | 1,24 | 0,04 |
| N ₂ | 5726,16 | 204,51 | N ₂ | 5726,16 | 204,51 |
| O ₂ | 247,72 | 7,74 | O ₂ | 247,72 | 7,74 |
| CO ₂ | 0,0034 | 0,0001 | CO ₂ | 0,0034 | 0,0001 |
| CO | 0,043 | 0,002 | CO | 0,043 | 0,002 |
| CH ₂ O | 2380,06 | 79,34 | CH ₂ O | 71,40 | 2,38 |
| CH ₂ O ₂ | 7,19 | 0,16 | CH ₂ O ₂ | 0,22 | 0,005 |
| H ₂ O | 1434,79 | 79,71 | | | |
| | | | | | |
| | Aliran (7) | | | Aliran (9) | |
| H ₂ O | 5047,89 | 280,44 | CH ₃ OH | 40,12 | 1,25 |
| | | | CH ₂ O | 2308,65 | 76,96 |
| | | | CH ₂ O ₂ | 6,98 | 0,15 |
| | | | H ₂ O | 6482,68 | 360,15 |
| | | | | | |
| Total | 14885,22 | 653,18 | Total | 14885,22 | 653,18 |

5. Deionizer

Fungsi : untuk menyerap asam formiat

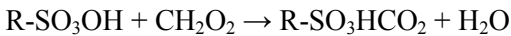


Neraca massa asam formiat (1)
 $Q_{\text{total}} = 8838,43 \text{ kg/jam}$

Asam formiat yang masuk ke deionizer

$Q_1 = 6,98 \text{ kg/jam}$

Resin yang digunakan untuk menyerap asam formiat adalah resin anion



Dengan asumsi waktu untuk resin beregenerasi selama 8 jam, maka:

Volume asam formiat yang bisa diserap = $Q_1 \times 8 \text{ jam}$
 $= 6,98 \text{ kg/j} \times 8 \text{ jam}$
 $= 55,83 \text{ kg}$

Neraca massa resin (2)

Untuk kapasitas resin anion (Q_2) adalah $0,773 \text{ kg/l}$

Menghitung volume resin untuk menghilangkan asam formiat

$Q_1 = Q_2$

$$Q1 = Q2 \times \text{volume resin}$$

$$\text{volume resin} = 55,83 \text{ kg} / 0,773 \text{ kg/l}$$

$$\text{volume resin} = 72,23 \text{ liter}$$

Tabel A.8 Neraca Massa pada Deionizer

| Komponen | Aliran Masuk | | Komponen | Aliran keluar | |
|--------------------------------|--------------|--------|--------------------------------|---------------|--------|
| | Aliran (9') | | | Aliran (10) | |
| | kg | kmol | | kg | kmol |
| CH ₃ OH | 40,12 | 1,25 | CH ₃ OH | 40,12 | 1,25 |
| H ₂ O | 6482,68 | 360,15 | H ₂ O | 6482,68 | 360,15 |
| CH ₂ O | 2308,65 | 76,96 | CH ₂ O | 2308,65 | 76,96 |
| CH ₂ O ₂ | 6,98 | 0,15 | | | |
| | | | | Aliran (11) | |
| | | | CH ₂ O ₂ | 6,98 | 0,15 |
| Total | 8838,43 | 438,51 | Total | 8838,43 | 438,51 |

APPENDIX B

PERHITUNGAN NERACA ENERGI

| | | |
|-------------|---|-------------------|
| Kapasitas | = | 70.000 ton/tahun |
| | = | 212121,21 kg/hari |
| | = | 8838,38 kg/jam |
| Basis | = | 1 jam operasi |
| T referensi | = | 25°C |
| Satuan | = | Kkal/jam |

Tabel B.1 *Heat Capacities Equation of Liquid (J/kmol K)*

| Komponen | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
|--------------------------------|--------|---------|--------|-----------|------------|
| CH ₃ OH | 105800 | -362,23 | 0,9379 | - | - |
| H ₂ O | 276370 | -2090,1 | 8,125 | -0,014116 | 9,3701E-06 |
| CH ₂ O | 61900 | 28,3 | - | - | - |
| CH ₂ O ₂ | 78060 | 71,54 | - | - | - |

Sumber : Tabel 2-153 *Chapter 2 Chemical Engineers' Handbook (Perry, 1934)*

Tabel B.2 *Heat Capacities Equation of Gas (J/gmol C)*

| Komponen | A | B | C | D |
|--------------------------------|--------|----------|------------|------------|
| CH ₃ OH | 42,93 | 0,08301 | -0,0000187 | -8,03E-09 |
| H ₂ O | 33,46 | 0,00688 | 7,604E-06 | -3,593E-09 |
| CH ₂ O | 34,28 | 0,04268 | 0 | -8,694E-09 |
| CH ₂ O ₂ | 11,715 | 0,13578 | -8,411E-05 | 2,0168E-08 |
| O ₂ | 29,1 | 0,01158 | -6,076E-06 | 1,311E-09 |
| N ₂ | 29 | 0,002199 | 5,723E-06 | -2,871E-09 |

| | | | | |
|-----------------|-------|---------|------------|-----------|
| CO | 28,95 | 0,00411 | 3,548E-06 | -2,22E-09 |
| CO ₂ | 36,11 | 0,04233 | -2,887E-05 | 7,464E-09 |

Sumber : Appendixes Tabel E-1 *Basic Principles And Calculation In Chemical Engineering* (Himmelblau, 1962)

Tabel B.3 *Heat of Vaporization (J/kmol)*

| Komponen | C1 | C2 | C3 | C4 |
|--------------------------------|----------|---------|---------|-------|
| CH ₃ OH | 50451000 | 0,33594 | - | - |
| H ₂ O | 52053000 | 0,3199 | - | - |
| CH ₂ O | 30760000 | 0,2954 | - | - |
| CH ₂ O ₂ | 23700000 | 1,999 | -5,1503 | 3,331 |

Sumber : Tabel 2-153 *Chemical Engineers' Handbook* (Perry, 1934)

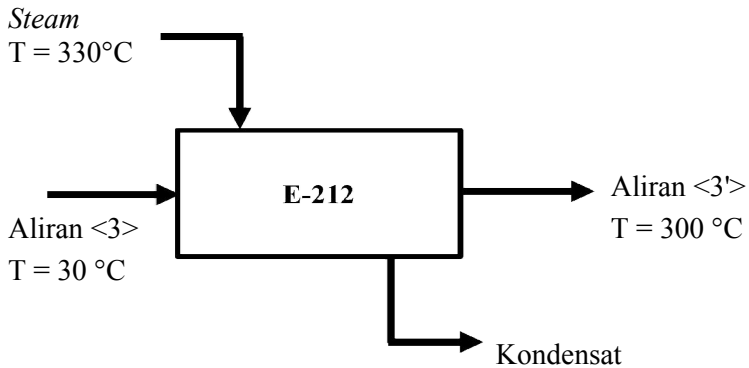
Tabel B.4 *Heat of Formation (kJ/gmol)*

| Komponen | ΔH_f |
|--------------------------------|--------------|
| CH ₃ OH | -201,25 |
| H ₂ O | -241,826 |
| CH ₂ O | -115,89 |
| CH ₂ O ₂ | -378,6 |
| O ₂ | 0 |
| N ₂ | 0 |
| CO | -110,52 |
| CO ₂ | -393,51 |

Sumber : Appendixes Tabel F-1 *Basic Principles And Calculation In Chemical Engineering* (Himmelblau, 1962)

1. Preheater

Fungsi : Memanaskan Oksigen (O₂) dan Nitrogen (N₂)



Entalphy Masuk Preheater

Tabel B.5 *Enthalpy* Aliran <3>

| Komponen | Massa (kg) | n (kmol) | C _p (kkal/kmol) | H _{in} (kkal) |
|----------------|------------|----------|----------------------------|------------------------|
| N ₂ | 5726,16 | 204,51 | 34,73 | 7102,97 |
| O ₂ | 1522,14 | 47,57 | 35,15 | 1671,96 |
| Total | | | | 8774,93 |

Menghitung $\int C_p dT$ masing-masing komponen pada aliran <4>

T = 300°C

T_{ref} = 25°C

Nitrogen (N₂)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 29 + 0,002199 T + 0,000005723 T^2 + (-2,871 E-09 T^3) \\
 &= 29 (300 - 25) + 0,0010995 ((300^2) - (25^2)) + \\
 &\quad 1,90767 E-06 ((300^3) - (25^3)) + (-7,1775 E-10) \\
 &\quad ((300^4) - (25^4)) \\
 &= 8118,93 \text{ J/kmol} \\
 &= 1940,42 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Oksigen (O₂)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 29 + 0,001158 T + (-6,076E-06T^2) + (1,311E-09T^3) \\
 &= 29 (300 - 25) + 0,00579 ((300^2) - (25^2)) + \\
 &\quad (-2,02533E-06) ((300^3) - (25^3)) + (3,2775E-10) \\
 &\quad ((300^4) - (25^4)) \\
 &= 8467,98 \text{ J/kmol} \\
 &= 2023,85 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Menghitung enthalpy aliran keluar Preheater

Tabel B.6 Enthalpy Aliran <3>

| Komponen | Massa (kg) | n (kmol) | Cp (kkal/kmol) | Hout (kkal) |
|----------------|------------|----------|----------------|-------------|
| N ₂ | 5726,16 | 204,51 | 1940,42 | 396827,96 |
| O ₂ | 1522,14 | 47,57 | 2023,85 | 96268,38 |
| Total | | | | 493096,33 |

Neraca Panas Total

$$H_{in} + Q_{\text{supply}} = H_{out} + Q_{\text{loss}}$$

Q loss sebesar 0,05 Q supply, sehingga :

$$H_{in} + Q_{\text{supply}} = H_{out} + 0,05 Q_{\text{supply}}$$

$$\begin{aligned}
 8774,93 + Q_{\text{supply}} &= 493096,33 + 0,05 Q_{\text{supply}} \\
 0,95 Q_{\text{supply}} &= 484321,40 \text{ kkal/jam} \\
 Q_{\text{supply}} &= 509812,00 \text{ kkal/jam} \\
 Q_{\text{loss}} &= 25490,60 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

Menghitung massa steam yang dibutuhkan

Steam yang digunakan adalah steam saturated yang memiliki suhu 330 °C dan bertekanan 12862,5 kPa

| T (°C) | P (kPa) | HI (kJ/kg) | Hv (kJ/kg) | λ | Hv (kkal/kg) | HI (kkal/kg) | λ |
|-----------|------------|---------------|---------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------|
| 330 | 12863 | 1526,5 | 2670,2 | 1143,7 | 638,18 | 364,83 | 273,34 |

Sumber: Geankoplis Appendix A.2-9

$$\begin{aligned}
 Q &= m \times \lambda \\
 509812,00 &= m \times (273,34 \text{ kkal/kg}) \\
 m &= 1865,09 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

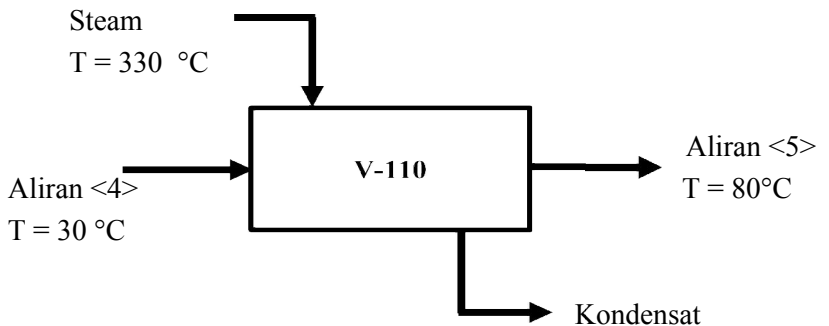
Neraca Panas *Preheater*

Tabel B.7 Neraca panas total pada *preheater*

| Masuk (kkal) | | Keluar (kkal) | |
|--------------|-----------|---------------|-----------|
| Hin | 8774,93 | Hout | 493096,33 |
| Q supply | 509812,00 | Q loss | 25490,60 |
| Total | 518586,93 | | 518586,93 |

2. *Vaporizer*

Fungsi : mengubah fase metanol *liquid* menjadi *vapor*



Menghitung $\int C_p dT$ masing-masing komponen pada aliran <4>
 $T = 30^\circ\text{C}$ $T_{ref} = 25^\circ\text{C}$

Metanol (CH_3OH)

$$\begin{aligned}\int \text{Cp} \, dT &= \int 105800 + (-362,23) T + 0,9379T^2 \\ &= 105800 (30 - 25) + (-181,115) ((30^2) - (25^2)) + \\ &\quad 0,31263333 ((30^3) - (25^3)) \\ &= 408,22 \text{ J/kmol} \\ &= 97,57 \text{ kkal/kmol}\end{aligned}$$

Air (H_2O)

$$\begin{aligned}\int \text{Cp} \, dT &= \int 276370 + (-2090,1) T + 8,125 T^2 + (-0,014) T^3 + \\ &\quad 9,3701\text{E-}06 T^4 \\ &= 276370 (30 - 25) + (-1045,05) ((30^2) - (25^2)) + \\ &\quad 2,70833 ((30^3) - (25^3)) + (-0,003529) ((30^4) - (25^4)) + \\ &\quad 1,87402\text{E-}06 ((30^5) - (25^5)) \\ &= 376,75 \text{ J/kmol} \\ &= 90,04 \text{ kkal/kmol}\end{aligned}$$

Menghitung *enthalpy* aliran masuk Vaporizer

Tabel B.8 Enthalpy Aliran <4>

| Komponen | Massa (kg) | n (kmol) | cp (kkal/kmol) | Hin (kkal) |
|------------------------|------------|----------|----------------|------------|
| CH_3OH | 2585,15 | 80,79 | 97,57 | 7881,88 |
| H_2O | 3,88 | 0,22 | 90,04 | 19,43 |
| Total | | | | 7901,30 |

Menghitung $\int \text{Cp} \, dT$ masing-masing komponen pada aliran <5>

$T = 80^\circ\text{C}$

$T_{\text{ref}} = 25^\circ\text{C}$

Metanol (CH_3OH)

$$\begin{aligned}\int \text{Cp} \, dT &= \int 42,93 + 0,08301 T + (-0,0000187) T^2 + -8,03\text{E-}09 T^3 \\ &= 42,93 (80 - 25) + 0,041505 ((80^2) - (25^2)) +\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (-6,23333\text{E-}06) ((80^3)-(25^3)) + (-2,0075\text{E-}09) ((80^4)-(25^4)) \\
 & = 2597,67 \text{ J/kmol} \\
 & = 620,84 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Air (H₂O)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 33,46 + 0,0069 T + 7,604\text{E-}06 T^2 + (-3,593\text{E-}09) T^3 \\
 &= 33,46 (80 - 25) + 0,00344 ((80^2) - (25^2)) + \\
 &\quad 2,53467\text{E-}06 ((80^3)-(25^3)) + (-8,983\text{E-}10)((80^4)-(25^4)) \\
 &= 1861,39 \text{ J/kmol} \\
 &= 444,87 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Menghitung *enthalpy* aliran keluar Vaporizer

Tabel B.9 Enthalpy Aliran <5>

| Komponen | Massa (kg) | n (kmol) | Cp (kkal/kmol) | Hout (kkal) |
|--------------------|------------|----------|----------------|-------------|
| CH ₃ OH | 2585,15 | 80,79 | 620,84 | 50155,24 |
| H ₂ O | 3,88 | 0,22 | 444,87 | 95,98 |
| Total | | | | 50251,22 |

Menghitung Panas Penguapan (Hv)

Karena dalam *vaporizer* terjadi perubahan *fase* dari *liquid* menjadi *vapor*, maka panas penguapan perlu dihitung.

$$H_v = C_1 (1 - T_r) + C_2 T_r + C_4 T_r^2 + C_5 T_r^3$$

Dimana $T_r = T/T_c$ Sumber : (Perry, 1934)

Keterangan :

Hv = Panas penguapan (kkal/kmol)

T = Suhu operasi (K)

Tc = Suhu kritis (K)

Sumber : (Perry, hal 185)

Tabel B.10 Panas Penguapan

| Komponen | C1 | C2 | T | Tc | Tr | ΔH_v kkal/kmol |
|--------------------|----------|------|-----|--------|------|---------------------------|
| CH ₃ OH | 50451000 | 0,34 | 353 | 512,50 | 0,69 | 8146,45 |
| H ₂ O | 52053000 | 0,32 | 353 | 647,10 | 0,55 | 9666,84 |

Tabel B.11 Panas Penguapan Aliran <5>

| Komponen | Massa (kg) | n (kmol) | ΔH_v (kkal/kmol) | Hv (kkal) |
|--------------------|---------------|-------------|-----------------------------|-----------|
| CH ₃ OH | 2585,15 | 80,79 | 8146,45 | 658117,80 |
| H ₂ O | 3,88 | 0,22 | 9666,84 | 2085,64 |
| Total | | | | 660203,44 |

Neraca Panas Total

$H_{in} + Q_{supply} = H_{out} + H_v + Q_{loss}$

Q loss sebesar 0,05 Q supply, sehingga :

$H_{in} + Q_{supply} = H_{out} + H_v + 0,05 Q_{supply}$

| | | | | | | |
|---------|---|---------------|---|-----------|----------|---------------|
| 7901,30 | + | Q supply | = | 710454,66 | + | 0,05 Q supply |
| | | 0,95 Q supply | = | 702553,36 | kkal/jam | |
| | | Q supply | = | 739529,85 | kkal/jam | |
| | | Q loss | = | 36976,49 | kkal/jam | |

Menghitung massa steam yang dibutuhkan

Steam yang digunakan adalah steam saturated yang memiliki suhu 330 °C dan bertekanan 12862,5,5 kpa

| T (°C) | P (kPa) | HL (kJ/kg) | Hv (kJ/kg) | λ | Hv (kkal/kg) | HL (kkal/kg) | λ |
|-----------|------------|---------------|---------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------|
| 330 | 12863 | 1526,5 | 2670,2 | 1143,7 | 638,18 | 364,83 | 273,34 |

Sumber : Geankoplis Appendiks A.2-9

$$\begin{aligned}
 Q &= m \times \lambda \\
 739529,85 &= m \times (481,15 \text{ kkal/kg}) \\
 m &= 2705,49 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

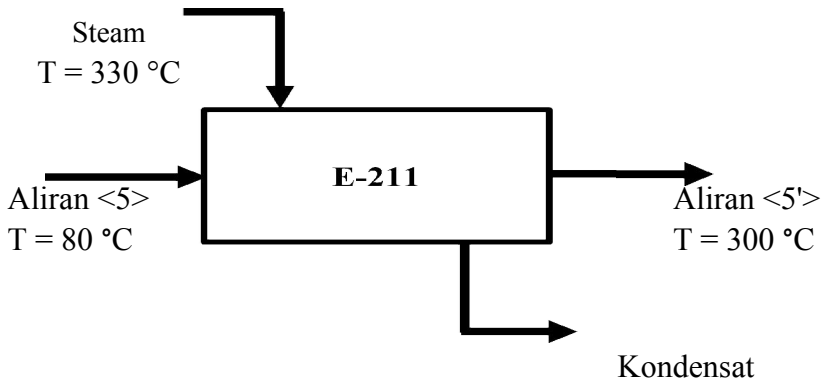
Neraca Panas *Vaporizer*

Tabel B.12 Neraca panas total pada *vaporizer*

| Masuk (kkal) | | Keluar (kkal) | |
|--------------|-----------|---------------|-----------|
| Hin | 7901,30 | Hout | 50251,22 |
| Q supply | 739529,85 | Hv | 660203,44 |
| | | Q loss | 36976,49 |
| Total | 747431,15 | | 747431,15 |

3. Preheater

Fungsi : Memanaskan Metanol (CH_3OH) dan Air (H_2O)



Enthalpy Masuk Preheater

Tabel B.13 Enthalpy Aliran <5>

| Komponen | Massa (kg) | n (kmol) | Cp (kkal/kmol) | Hin (kkal) |
|--------------------|---------------|-------------|-------------------|---------------|
| CH ₃ OH | 2585,15 | 80,79 | 620,84 | 50155,24 |
| H ₂ O | 3,88 | 0,22 | 444,87 | 95,98 |
| Total | | | | 50251,22 |

Menghitung $\int C_p dT$ masing-masing komponen pada aliran <5>
 $T = 300^\circ\text{C}$ $T_{\text{ref}} = 25^\circ\text{C}$

Metanol (CH_3OH)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 42,93 + 0,08301 T + (-0,0000187) T^2 + -8,03\text{E-}09 T^3 \\
 &= 42,93 (300 - 25) + 0,041505 ((300^2) - (25^2)) + \\
 &\quad (-6,23333\text{E-}06) ((300^3) - (25^3)) + (-2,0075\text{E-}09) ((300^4) - (25^4)) \\
 &= 15330,80 \text{ J/kmol} \\
 &= 3664,06 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Air (H₂O)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 33,46 + 0,0069 T + 7,604E-06 T^2 + (-3,593E-09) T^3 \\
 &= 33,46 (300 - 25) + 0,00344 ((300^2) - (25^2)) + \\
 &\quad 2,53467E-06 ((300^3) - (25^3)) + (-8,983E-10)((300^4) - \\
 &\quad (25^4)) \\
 &= 9570,07 \text{ J/kmol} \\
 &= 2287,25 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Menghitung *enthalpy* aliran keluar *Preheater*

Tabel B.14 *Enthalpy* Aliran <5'>

| Komponen | Massa (kg) | n (kmol) | Cp (kkal/kmol) | Hout (kkal) |
|--------------------|------------|----------|----------------|-------------|
| CH ₃ OH | 2585,15 | 80,79 | 3664,06 | 296004,09 |
| H ₂ O | 3,88 | 0,22 | 2287,25 | 493,48 |
| Total | | | | 296497,57 |

Neraca Panas Total

$$H_{in} + Q_{\text{supply}} = H_{out} + Q_{\text{loss}}$$

Q loss sebesar 0,05 Q supply, sehingga :

$$H_{in} + Q_{\text{supply}} = H_{out} + 0,05 Q_{\text{supply}}$$

$$\begin{aligned}
 50251,22 + Q_{\text{supply}} &= 296497,57 + 0,05 Q_{\text{supply}} \\
 0,95 Q_{\text{supply}} &= 246246,36 \text{ kkal/jam} \\
 Q_{\text{supply}} &= 259206,69 \text{ kkal/jam} \\
 Q_{\text{loss}} &= 12960,33 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

Menghitung massa steam yang dibutuhkan

Steam yang digunakan adalah steam saturated yang memiliki suhu 330 °C dan bertekanan 12862,5 kPa

| T (°C) | P (kPa) | HL (kJ/kg) | H _v (kJ/kg) | λ | H _v (kkal/kg) | HL (kkal/kg) | λ |
|-----------|------------|---------------|---------------------------|--------|-----------------------------|-----------------|--------|
| 330 | 12863 | 1526,5 | 2670,2 | 1143,7 | 638,18 | 364,83 | 273,34 |

Sumber : Geankoplis Appendiks A.2-9

$$\begin{aligned}
 Q &= m \times \lambda \\
 259206,69 &= m \times (273,34 \text{ kkal/kg}) \\
 m &= 948,28 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

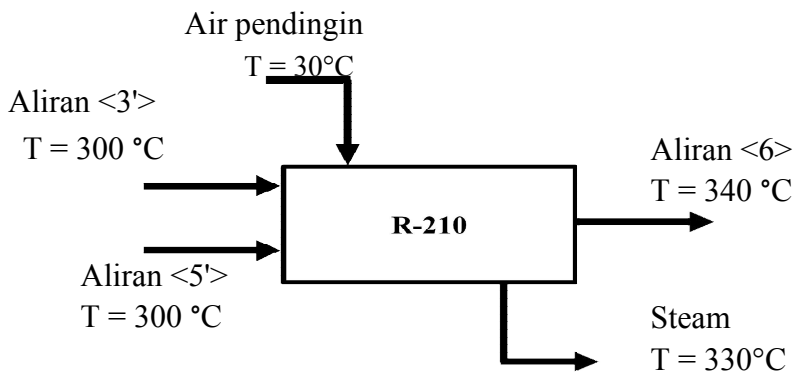
Neraca Panas *Preheater*

Tabel B.15 Neraca panas total pada *preheater*

| Masuk (kkal) | | Keluar (kkal) | |
|--------------|-----------|---------------|-----------|
| Hin | 50251,22 | Hout | 296497,57 |
| Q supply | 259206,69 | Q loss | 12960,33 |
| Total | 309457,91 | | 309457,91 |

4. Reaktor

Fungsi : Mereaksikan metanol fase *vapor* dan udara dengan katalis *Iron Molybdenum*



Enthalpy Masuk Reaktor**Tabel B.16 Enthalpy Aliran <3'>**

| Komponen | Massa (kg) | n (kmol) | cp (kkal/kmol) | Hin1 (kkal) |
|----------------|------------|----------|----------------|-------------|
| N ₂ | 5726,16 | 204,51 | 1940,42 | 396827,96 |
| O ₂ | 1522,14 | 47,57 | 2023,85 | 96268,38 |
| Total | | | | 493096,33 |

Tabel B.17 Enthalpy Aliran <3'>

| Komponen | Massa (kg) | n (kmol) | cp (kkal/kmol) | Hin2 (kkal) |
|--------------------|------------|----------|----------------|-------------|
| CH ₃ OH | 2585,15 | 80,79 | 3664,06 | 296004,09 |
| H ₂ O | 3,88 | 0,22 | 2287,25 | 493,48 |
| Total | | | | 296497,57 |

Menghitung Panas Reaksi pada Reaktor

Produk dan reaktan tidak pada suhu 25°C, sehingga perhitungan panas reaksi sebagai berikut :

$$Q = \Delta H_{Rx} = (H \text{ produk} - H \text{ reaktan}) + \Delta H_{Rx} \text{ 25}$$

Reaksi Utama :



Menghitung HRx 25 pada reaksi utama

Tabel B.18 Panas reaksi utama pada 25 °C

| Komponen | CH ₃ OH | 1/2 O ₂ | CH ₂ O | H ₂ O |
|--|--------------------|--------------------|-------------------|------------------|
| $\Delta H_f \text{ 25 (kkal/kmol)}$ | -48098,75 | 0 | -27697,71 | -57796,41 |
| n (kmol) | 79,49 | 39,75 | 79,49 | 79,49 |
| n * $\Delta H_f \text{ 25 (kkal)}$ | -3823525,39 | 0 | -2201780,66 | -4594424,10 |

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{R \times 25} &= (n \Delta H_f 25 \text{ produk}) - (n \times \Delta H_f 25 \text{ reaktan}) \\
 &= -6796204,76 \quad - \quad -3823525,39 \\
 &= -2972679,37 \quad \text{kkal}
 \end{aligned}$$

Menghitung panas entalpi reaktan (yang bereaksi saja)

$$T_{ref} = 25 \text{ } ^\circ\text{C} \quad T = 300 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabel B.19 Panas Reaktan yang Bereaksi

| Komponen | Cp (kkal/kmol) | kmol | $\Delta H_{reaktan}$ (kkal) |
|--------------------|----------------|-------|-----------------------------|
| CH ₃ OH | 3664,06 | 79,49 | 291268,03 |
| 1/2 O ₂ | 2023,85 | 39,75 | 80441,12 |
| Total | | | 371709,15 |

Menghitung panas entalpi produk (produk dan sisa reaktan)

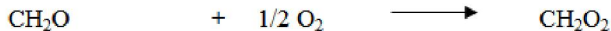
$$T_{ref} = 25 \text{ } ^\circ\text{C} \quad T = 340 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabel B.20 Panas Produk dan Sisa Reaktan

| Komponen | Cp | kmol | $\Delta H_{produk+sisa}$ (kkal) |
|--------------------|---------|-------|---------------------------------|
| CH ₃ OH | 4307,56 | 1,29 | 5567,84 |
| 1/2 O ₂ | 2331,93 | 7,82 | 18236,54 |
| CH ₂ O | 3160,23 | 79,49 | 251216,96 |
| H ₂ O | 2634,50 | 79,49 | 209424,58 |
| Total | | | 484445,92 |

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{R \times} &= (\Delta H_{produk} - \Delta H_{reaktan}) + \Delta H_{R \times 25} \\
 &= 112736,77 + -2972679,37 \\
 &= -2859942,60 \quad \text{kkal}
 \end{aligned}$$

Reaksi Samping :



Menghitung HRx 25 pada reaksi samping

Tabel B.21 Panas reaksi samping pada 25 °C

| Komponen | CH ₂ O | 1/2 O ₂ | CH ₂ O ₂ |
|-----------------------------|-------------------|--------------------|--------------------------------|
| ΔH_f 25 (kkal/kmol) | -27697,71 | 0 | -90485,40 |
| n (kmol) | 0,16 | 0,078203786 | 0,16 |
| n * ΔH_f 25 (kkal) | -4332,13 | 0 | -14152,60 |

$$\Delta H_{Rx} 25 = (n \Delta H_f 25 \text{ produk}) - (n \times \Delta H_f 25 \text{ reaktan})$$

$$= -14152,60 - -4332,131563$$

$$= -9820,47 \text{ kkal}$$

Menghitung panas entalpi reaktan (yang bereaksi saja)

$$T_{ref} = 25 \text{ } ^\circ\text{C} \quad T = 300 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabel B.22 Panas Reaktan yang Bereaksi

| Komponen | Cp (kkal/kmol) | kmol | $\Delta H_{reaktan}$ (kkal) |
|--------------------|----------------|------|-----------------------------|
| CH ₂ O | 2704,68 | 0,16 | 423,03 |
| 1/2 O ₂ | 2023,85 | 0,08 | 158,27 |
| Total | | | 581,31 |

Menghitung panas entalpi produk (produk dan sisa reaktan)

$$T_{ref} = 25 \text{ } ^\circ\text{C} \quad T = 340 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabel B.23 Panas Produk dan Sisa Reaktan

| Komponen | Cp | kmol | $\Delta H_{produk+sisa}$ (kkal) |
|--------------------------------|---------|-------|---------------------------------|
| CH ₂ O | 3160,23 | 79,34 | 250722,68 |
| 1/2 O ₂ | 2331,93 | 7,74 | 18054,18 |
| CH ₂ O ₂ | 2500,36 | 0,16 | 391,07 |
| Total | | | 269167,93 |

$$\begin{aligned} \Delta H_{Rx} &= (\Delta H_{produk} - \Delta H_{reaktan}) + \Delta H_{Rx25} \\ &= 268586,63 + -9820,47 \\ &= 258766,16 \text{ kkal} \end{aligned}$$

Reaksi Samping :



Menghitung HRx 25 pada reaksi samping

Tabel B.24 Panas reaksi samping pada 25 °C

| Komponen | CH ₂ O | 1/2 O ₂ | CO | H ₂ O |
|--------------------|-------------------|--------------------|-----------|------------------|
| ΔHf 25 (kkal/kmol) | -27697,71 | 0 | -26414,28 | -57796,41 |
| n (kmol) | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,002 |
| n * ΔHf 25 (kkal) | -42,89 | 0 | -40,90 | -89,49 |

$$\begin{aligned}\Delta\text{HRx } 25 &= (n \Delta\text{Hf } 25 \text{ produk}) - (n \times \Delta\text{Hf } 25 \text{ reaktan}) \\ &= \quad \quad -130,39 \quad \quad - \quad \quad -42,89 \\ &= \quad \quad -87,51 \quad \quad \text{kkal}\end{aligned}$$

Menghitung panas entalpi reaktan (yang bereaksi saja)

$$T_{\text{ref}} = 25 \text{ } ^\circ\text{C} \quad T = 300 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabel B.25 Panas Reaktan yang Bereaksi

| Komponen | Cp (kkal/kmol) | kmol | ΔHreaktan (kkal) |
|--------------------|----------------|-------|------------------|
| CH ₂ O | 2704,68 | 0,002 | 4,19 |
| 1/2 O ₂ | 2023,85 | 0,001 | 1,57 |
| Total | | | 5,75 |

Menghitung panas *enthalpy* produk (produk dan sisa reaktan)

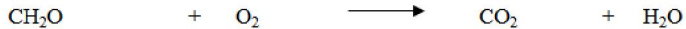
$$T_{\text{ref}} = 25 \text{ } ^\circ\text{C} \quad T = 340 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabel B.26 Panas Produk dan Sisa Reaktan

| Komponen | Cp | kmol | ΔHproduk+sisa (kkal) |
|--------------------|---------|-------|----------------------|
| CH ₂ O | 3160,23 | 79,34 | 250717,78 |
| 1/2 O ₂ | 2331,93 | 7,74 | 18052,37 |
| CO | 2245,30 | 0,002 | 3,48 |
| H ₂ O | 2634,50 | 0,002 | 4,08 |
| Total | | | 268777,71 |

$$\begin{aligned}\Delta\text{HRx} &= (\Delta\text{Hproduk}-\Delta\text{Hreaktan}) + \Delta\text{HRx}25 \\ &= 268771,96 + -87,51 \\ &= 268684,45 \quad \text{kkal}\end{aligned}$$

Reaksi Samping :



Menghitung HRx 25 pada reaksi samping

Tabel B.27 Panas reaksi samping pada 25 °C

| Komponen | CH ₂ O | O ₂ | CO ₂ | H ₂ O |
|--------------------|-------------------|----------------|-----------------|------------------|
| ΔHf 25 (kkal/kmol) | -27697,71 | 0 | -94048,89 | -57796,41 |
| n (kmol) | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 |
| n * ΔHf 25 (kkal) | -2,77 | 0 | -9,40 | -5,78 |

$$\begin{aligned}\Delta\text{HRx } 25 &= (n \Delta\text{Hf } 25 \text{ produk}) - (n \times \Delta\text{Hf } 25 \text{ reaktan}) \\ &= \quad \quad -15,18 \quad \quad - \quad \quad -2,77 \\ &= \quad \quad -12,41 \quad \quad \text{kkal}\end{aligned}$$

Menghitung panas entalpi reaktan (yang bereaksi saja)

$$T_{\text{ref}} = 25 \text{ } ^\circ\text{C} \quad T = 300 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabel B.28 Panas Reaktan yang Bereaksi

| Komponen | Cp (kkal/kmol) | kmol | ΔHreaktan (kkal) |
|-------------------|----------------|--------|------------------|
| CH ₂ O | 2704,68 | 0,0001 | 0,27 |
| O ₂ | 2023,85 | 0,0001 | 0,20 |
| Total | | | 0,47 |

Menghitung panas entalpi produk (produk dan sisa reaktan)

$$T_{\text{ref}} = 25 \text{ } ^\circ\text{C} \quad T = 340 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabel B.29 Panas Produk dan Sisa Reaktan

| Komponen | Cp | kmol | ΔHproduk+sisa (kkal) |
|-------------------|---------|--------|----------------------|
| CH ₂ O | 3160,23 | 78,43 | 247856,88 |
| O ₂ | 2331,93 | 9,51 | 22176,62 |
| CO ₂ | 3215,73 | 0,0001 | 0,32 |
| H ₂ O | 2634,50 | 0,0001 | 0,26 |
| Total | | | 270034,09 |

$$\begin{aligned}\Delta\text{HRx} &= (\Delta\text{Hproduk}-\Delta\text{Hreaktan}) + \Delta\text{HRx}25 \\ &= \quad \quad 270033,61 \quad \quad + \quad \quad -12,41 \\ &= \quad \quad 270021,20 \quad \quad \text{kkal}\end{aligned}$$

Menghitung $\int C_p dT$ masing-masing komponen pada aliran <6>

T = 340 °C

T_{ref} = 25 °CMetanol (CH₃OH)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 42,93 + 0,08301 T + -0,0000187 T^2 + -8,03E-09 T^3 \\
 &= 42,93 (340-25) + 0,041505 ((340^2)-(25^2)) + \\
 &\quad -6,23333E-06 ((340^3)-(25^3)) + -2,0075E-09 ((340^4)-(25^4)) \\
 &= 18023,26 \quad \text{J/kmol} \\
 &= 4307,56 \quad \text{kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Air (H₂O)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 33,46 + 0,00688 T + 7,604E-06 T^2 + -3,593E-09 T^3 \\
 &= 33,46 (340-25) + 0,00344 ((340^2)-(25^2)) + \\
 &\quad 2,53467E-06 ((340^3)-(25^3)) + -8,9825E-10 ((340^4)-(25^4)) \\
 &= 11022,99 \quad \text{J/kmol} \\
 &= 2634,50 \quad \text{kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Formaldehyde (CH₂O)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 34,28 + 0,04268 T + 0 T^2 + -8,694E-09 T^3 \\
 &= 34,28 (340-25) + 0,02134 ((340^2)-(25^2)) + \\
 &\quad 0 ((340^3)-(25^3)) + -2,1735E-09 ((340^4)-(25^4)) \\
 &= 13222,72 \quad \text{J/kmol} \\
 &= 3160,23 \quad \text{kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Asam Format (CH₂O₂)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 11,715 + 0,13578 T + -8,411E-05 T^2 + 2,0168E-08 T^3 \\
 &= 11,715 (340-25) + 0,06789 ((340^2)-(25^2)) + \\
 &\quad -2,80367E-05 ((340^3)-(25^3)) + 5,042E-09 ((340^4)-(25^4)) \\
 &= 10461,74 \quad \text{J/kmol} \\
 &= 2500,36 \quad \text{kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Oksigen (O₂)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 29,1 + 0,01158 T + -6,076E-06 T^2 + 1,311E-09 T^3 \\
 &= 29,1 (340-25) + 0,00579 ((340^2)-(25^2)) + \\
 &\quad -2,02533E-06 ((340^3)-(25^3)) + 3,2775E-10 ((340^4)-(25^4)) \\
 &= 9757,01 \quad \text{J/kmol} \\
 &= 2331,93 \quad \text{kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Nitrogen (N₂)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 29 + 0,01158 T + 5,723E-06 T^2 + -2,871E-09 T^3 \\
 &= 29 (340-25) + 0,0010995 ((340^2)-(25^2)) + \\
 &\quad 1,90767E-06 ((340^3)-(25^3)) + -7,1775E-10 ((340^4)-(25^4)) \\
 &= 9326,77 \quad \text{J/kmol} \\
 &= 2229,10 \quad \text{kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Karbonmonoksida (CO)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 28,95 + 0,00411 T + 3,548E-06 T^2 + -2,22E-09 T^3 \\
 &= 28,95 (340-25) + 0,002055 ((340^2)-(25^2)) + \\
 &\quad 1,18267E-06 ((340^3)-(25^3)) + -5,55E-10 ((340^4)-(25^4)) \\
 &= 9394,57 \quad \text{J/kmol} \\
 &= 2245,30 \quad \text{kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Karbondioksida (CO₂)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 36,11 + 0,04233 T + -2,887E-05 T^2 + 7,464E-09 T^3 \\
 &= 36,11 (340-25) + 0,021165 ((340^2)-(25^2)) + \\
 &\quad -9,62333E-06 ((340^3)-(25^3)) + 1,866E-09 ((340^4)-(25^4)) \\
 &= 13454,95 \quad \text{J/kmol} \\
 &= 3215,73 \quad \text{kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Menghitung *enthalpy* aliran keluar ReaktorTabel B.30 *Enthalpy* Aliran <6>

| Komponen | Massa (kg) | n (kmol) | Cp (kkal/kmol) | Hout (kkal) |
|--------------------------------|------------|----------|----------------|-------------|
| CH ₃ OH | 41,36 | 1,29 | 4307,56 | 5567,84 |
| H ₂ O | 1434,79 | 79,71 | 2634,50 | 209997,26 |
| CH ₂ O | 2380,06 | 79,34 | 3160,23 | 250717,54 |
| CH ₂ O ₂ | 7,19 | 0,16 | 2500,36 | 391,07 |
| O ₂ | 247,72 | 7,74 | 2331,93 | 18052,19 |
| N ₂ | 5726,16 | 204,51 | 2229,10 | 455863,46 |
| CO | 0,04 | 0,002 | 2245,30 | 3,48 |
| CO ₂ | 0,003 | 0,0001 | 3215,73 | 0,25 |
| Total | | | | 940593,09 |

$$\begin{aligned}
 \text{Panas masuk} &= \text{Panas keluar} \\
 H_{in} &= H_{out} + \Delta H_{Rx} \\
 789593,91 \text{ kkal} &= 940593,09 \text{ kkal} + -2062470,79 \text{ kkal} \\
 789593,91 \text{ kkal} &= -1121877,70 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panas Keluar} - \text{Panas Masuk} &= 0 \\
 -1121877,70 \text{ kkal} - 789593,91 \text{ kkal} &= -1911471,61 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

Karena panas keluar - panas masuk tidak sama dengan 0 dan bernilai negatif maka reaksi yang terjadi adalah reaksi eksoterm. Reaksi ini memerlukan pendingin, sehingga membutuhkan air pendingin.

Neraca Panas Total

$$H_{in} = H_{out} + \Delta H_{Rx} + Q_{serap}$$

Qloss sebesar 0,05 Qsupply, sehingga :

$$\begin{aligned}
 H_{masuk} &= H_{keluar} + \Delta H_{Rx} + Q_{serap} \\
 789593,91 &= 940593,09 + -2062470,79 + Q_{serap} \\
 Q_{serap} &= 1911471,61 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

Menghitung massa air yang digunakan

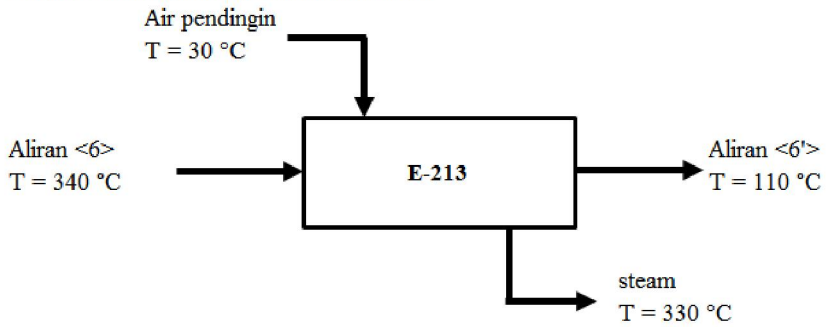
$$\begin{aligned}
 \text{suhu masuk} &= 30 \\
 \text{suhu keluar} &= 330 \\
 H \text{ air masuk} &= n \int C_p dT \\
 &= m/18 * 90,04 \\
 &\quad 5,00 \text{ m} \\
 H \text{ air keluar} &= n \int C_p dT + m * \lambda \\
 &= m/18 * 2547,30 + 273,34 \text{ m} \\
 &\quad 414,86 \text{ m} \\
 Q_{\text{serap}} &= H \text{ air keluar} - H \text{ air masuk} \\
 1911471,608 &= 414,86 \text{ m} - 5,00 \text{ m} \\
 &= 409,86 \text{ m} \\
 \text{massa air} &= 4663,73 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Neraca Panas Reaktor**Tabel B.31** Neraca panas total pada reaktor

| Masuk (kkal) | | Keluar (kkal) | |
|--------------|-----------|---------------|-------------|
| Hin | 789593,91 | Hout | 940593,09 |
| | | HRx | -2062470,79 |
| | | Q serap | 1911471,61 |
| Total | 789593,91 | | 789593,91 |

5. WHB

Fungsi : Mendinginkan produk hasil reaktor



Enthalpy Masuk WHB

Tabel B.32 Enthalpy Aliran <6>

| Komponen | Massa (kg) | n (kmol) | Cp (kkal/kmol) | Hout (kkal) |
|--------------------------------|------------|----------|----------------|-------------|
| CH ₃ OH | 41,36 | 1,29 | 4307,56 | 5567,84 |
| H ₂ O | 1434,79 | 79,71 | 2634,50 | 209997,26 |
| CH ₂ O | 2380,06 | 79,34 | 3160,23 | 250717,54 |
| CH ₂ O ₂ | 7,19 | 0,16 | 2500,36 | 391,07 |
| O ₂ | 247,72 | 7,74 | 2331,93 | 18052,19 |
| N ₂ | 5726,16 | 204,51 | 2229,10 | 455863,46 |
| CO | 0,04 | 0,002 | 2245,30 | 3,48 |
| CO ₂ | 0,003 | 0,0001 | 3215,73 | 0,25 |
| Total | | | | 940593,09 |

Menghitung $\int C_p dT$ masing-masing komponen pada aliran <6>

T = 110 °C

T_{ref} = 25 °CMetanol (CH₃OH)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 42,93 + 0,08301 T + -0,0000187 T^2 + -8,03E-09 T^3 \\
 &= 42,93 (110-25) + 0,00344 ((110^2)-(25^2)) + \\
 &\quad -6,23333E-06 ((110^3)-(25^3)) + -2,0075E-09 ((110^4)-(25^4)) \\
 &= 4116,83 \text{ J/kmol} \\
 &= 983,92 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Air (H₂O)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 33,46 + 0,00688 T + 7,604E-06 T^2 + -3,593E-09 T^3 \\
 &= 33,46 (110-25) + 0,00344 ((110^2)-(25^2)) + \\
 &\quad 2,53467E-06 ((110^3)-(25^3)) + -8,9825E-10 ((110^4)-(25^4)) \\
 &= 2886,78 \text{ J/kmol} \\
 &= 689,94 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Formaldehde (CH₂O)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 34,28 + 0,04268 T + 0 T^2 + -8,694E-09 T^3 \\
 &= 34,28 (110-25) + 0,02134 ((110^2)-(25^2)) + \\
 &\quad 0 ((110^3)-(25^3)) + -2,1735E-09 ((110^4)-(25^4)) \\
 &= 3158,36 \text{ J/kmol} \\
 &= 754,85 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Asam Format (CH₂O₂)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 11,715 + 0,13578 T + -8,411E-05 T^2 + 2,0168E-08 T^3 \\
 &= 11,715 (110-25) + 0,06789 ((110^2)-(25^2)) + \\
 &\quad -2,80367E-05 ((110^3)-(25^3)) + 5,042E-09 ((110^4)-(25^4)) \\
 &= 1738,67 \text{ J/kmol} \\
 &= 415,54 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Oksigen (O₂)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 29,1 + 0,01158 T + -6,076E-06 T^2 + 1,311E-09 T^3 \\
 &= 29,1 (110-25) + 0,00579 ((110^2)-(25^2)) + \\
 &\quad -2,02533E-06 ((110^3)-(25^3)) + 3,2775E-10 ((110^4)-(25^4)) \\
 &= 2537,32 \text{ J/kmol} \\
 &= 606,42 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Karbondioksida (CO₂)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 36,11 + 0,04233 T + -2,887E-05 T^2 + 7,464E-09 T^3 \\
 &= 36,11 (110-25) + 0,021165 ((110^2)-(25^2)) + \\
 &\quad -9,62333E-06 ((110^3)-(25^3)) + 1,866E-09 ((110^4)-(25^4)) \\
 &= 3299,83 \text{ J/kmol} \\
 &= 788,66 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Nitrogen (N₂)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 29 + 0,01158 T + 5,723E-06 T^2 + -2,871E-09 T^3 \\
 &= 29 (110-25) + 0,0010995 ((110^2)-(25^2)) + \\
 &\quad 1,90767E-06 ((110^3)-(25^3)) + -7,1775E-10 ((110^4)-(25^4)) \\
 &= 2480,02 \quad \text{J/kmol} \\
 &= 592,73 \quad \text{kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Karbonmonoksida (CO)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 28,95 + 0,00411 T + 3,548E-06 T^2 + -2,22E-09 T^3 \\
 &= 28,95 (110-25) + 0,002055 ((110^2)-(25^2)) + \\
 &\quad 1,18267E-06 ((110^3)-(25^3)) + -5,55E-10 ((110^4)-(25^4)) \\
 &= 2485,81 \quad \text{J/kmol} \\
 &= 594,11 \quad \text{kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Menghitung *enthalpy* aliran keluar WHB**Tabel B.33 *Enthalpy* Aliran <6'>**

| Komponen | Massa (kg) | n (kmol) | Cp (kkal/kmol) | Hout (kkal) |
|--------------------------------|------------|----------|----------------|-------------|
| CH ₃ OH | 41,36 | 1,29 | 983,92 | 1271,79 |
| H ₂ O | 1434,79 | 79,71 | 689,94 | 54995,52 |
| CH ₂ O | 2380,06 | 79,34 | 754,85 | 59886,01 |
| CH ₂ O ₂ | 7,19 | 0,16 | 415,54 | 64,99 |
| O ₂ | 247,72 | 7,74 | 606,42 | 4694,50 |
| N ₂ | 5726,16 | 204,51 | 592,73 | 121215,68 |
| CO | 0,04 | 0,002 | 594,11 | 0,92 |
| CO ₂ | 0,003 | 0,0001 | 788,66 | 0,06 |
| Total | | | | 242129,46 |

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{serap}} &= H_{\text{in}} - H_{\text{out}} \\
 &= 940593,09 \text{ kkal} - 242129,46 \text{ kkal} \\
 &= 698463,63 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

Menghitung massa air yang digunakan

$$\begin{aligned}
 \text{suhu masuk} &= 30 \\
 \text{suhu keluar} &= 330 \\
 H_{\text{air masuk}} &= n \int C_p dT \\
 &= m/18 * 90,04 \\
 &\quad 5,00 \text{ m} \\
 H_{\text{air keluar}} &= n \int C_p dT + m * \lambda \\
 &= m/18 * 2547,30 + 273,34 \text{ m} \\
 &\quad 414,86 \text{ m} \\
 Q_{\text{serap}} &= H_{\text{air keluar}} - H_{\text{air masuk}} \\
 698463,6291 &= 414,86 \text{ m} - 5,00 \text{ m} \\
 &= 409,86 \text{ m} \\
 \text{massa air} &= 1704,16 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

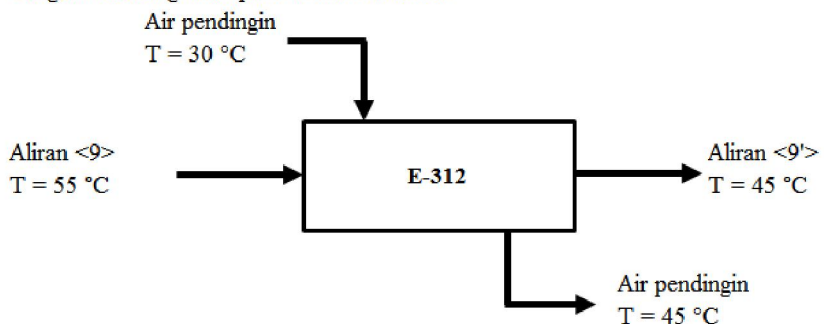
Neraca Panas WHB

Tabel B.34 Neraca panas total pada WHB

| Masuk (kkal) | | Keluar (kkal) | |
|-----------------|-----------|------------------|-----------|
| H _{in} | 940593,09 | H _{out} | 242129,46 |
| | | Q serap | 698463,63 |
| Total | 940593,09 | | 940593,09 |

7. Cooler

Fungsi : Mendinginkan produk hasil absorber



Menghitung $\int C_p dT$ masing-masing komponen pada aliran <9>

T = 55 °C

T_{ref} = 25 °CMetanol (CH₃OH)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 42,93 + 0,08301 T + -0,0000187 T^2 + -8,03E-09 T^3 \\
 &= 42,93 (55-25) + 0,00344 ((55^2)-(25^2)) + \\
 &= -6,23333E-06 ((55^3)-(25^3)) + -2,0075E-09 ((55^4)-(25^4)) \\
 &= 2531,32 \text{ J/kmol} \\
 &= 604,99 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Air (H₂O)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 33,46 + 0,00688 T + 7,604E-06 T^2 + -3,593E-09 T^3 \\
 &= 33,46 (55-25) + 0,00344 ((55^2)-(25^2)) + \\
 &= 2,53467E-06 ((55^3)-(25^3)) + -8,9825E-10 ((55^4)-(25^4)) \\
 &= 2258,15 \text{ J/kmol} \\
 &= 539,70 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Formaldehde (CH₂O)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 34,28 + 0,04268 T + 0 T^2 + -8,694E-09 T^3 \\
 &= 34,28 (55-25) + 0,02134 ((55^2)-(25^2)) + \\
 &= 0 ((55^3)-(25^3)) + -2,1735E-09 ((55^4)-(25^4)) \\
 &= 2122,74 \text{ J/kmol} \\
 &= 507,33 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Asam Format (CH₂O₂)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 11,715 + 0,13578 T + -8,411E-05 T^2 + 2,0168E-08 T^3 \\
 &= 11,715 (55-25) + 0,06789 ((55^2)-(25^2)) + \\
 &= -2,80367E-05 ((55^3)-(25^3)) + 5,042E-09 ((55^4)-(25^4)) \\
 &= 3013,56 \text{ J/kmol} \\
 &= 720,24 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Tabel B.35 Enthalpy Aliran <9>

| Komponen | Massa (kg) | n (kmol) | Cp (kkal/kmol) | Hout (kkal) |
|--------------------------------|------------|----------|----------------|-------------|
| CH ₃ OH | 40,12 | 1,25 | 604,99 | 758,53 |
| H ₂ O | 6482,68 | 360,15 | 539,70 | 194371,30 |
| CH ₂ O | 2308,65 | 76,96 | 507,33 | 39041,97 |
| CH ₂ O ₂ | 6,98 | 0,15 | 720,24 | 109,27 |
| Total | | | | 234281,07 |

Menghitung $\int C_p dT$ masing-masing komponen pada aliran <9>

T = 45 °C

T_{ref} = 25 °CMetanol (CH₃OH)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 105800 + (-362,23 T + 0,9379 T^2) \\
 &= 105800 (45-25) + (-181,115 ((45^2)-(25^2))) \\
 &= 0,312633333 ((45^3)-(25^3)) \\
 &= 1664,75 \text{ J/kmol} \\
 &= 397,87 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Air (H₂O)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 276370 + (-2090,1 T + 8,125 T^2 + -0,014 T^3 + 9,3701E-06 T^4) \\
 &= 276370 (45-25) + (-1045,05 ((45^2)-(25^2))) + \\
 &= 2,708333333 ((45^3)-(25^3)) + (-0,003529 ((45^4)-(25^4))) + \\
 &= 1,87402E-06 ((45^5)-(25^5)) \\
 &= 1505,67 \text{ J/kmol} \\
 &= 359,85 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Formaldehde (CH₂O)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 61900 + 28,3 T \\
 &= 61900 (45-25) + 14,15 ((45^2)-(25^2)) \\
 &= 1412,33 \text{ J/kmol} \\
 &= 337,55 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Asam Format (CH₂O₂)

$$\begin{aligned}
 \int C_p dT &= \int 78060 + 71,54 T \\
 &= 78060 (45-25) + 35,77 ((45^2)-(25^2)) \\
 &= 2001,89 \text{ J/kmol} \\
 &= 478,45 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Menghitung *enthalpy* aliran keluar CoolerTabel B.36 *Enthalpy* Aliran <9>

| Komponen | Massa (kg) | n (kmol) | C _p (kkal/kmol) | Hout (kkal) |
|--------------------------------|------------|----------|----------------------------|-------------|
| CH ₃ OH | 40,12 | 1,25 | 397,87 | 498,85 |
| H ₂ O | 6482,68 | 360,15 | 359,85 | 129601,22 |
| CH ₂ O | 2308,65 | 76,96 | 337,55 | 25975,93 |
| CH ₂ O ₂ | 6,98 | 0,15 | 478,45 | 72,59 |
| Total | | | | 156148,59 |

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{serap}} &= H_{\text{in}} - H_{\text{out}} \\
 &= 234281,07 \text{ kkal} - 156148,59 \text{ kkal} \\
 &= 78132,48 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

Menghitung massa air yang digunakan

$$\begin{aligned}
 \text{suhu masuk} &= 30 \\
 \text{suhu keluar} &= 45 \\
 H_{\text{air masuk}} &= n \int C_p dT \\
 &= m/18 * 90,04 \\
 &\quad 5,00 \text{ m} \\
 H_{\text{air keluar}} &= n \int C_p dT \\
 &= m/18 * 359,85 \\
 &\quad 19,99 \text{ m} \\
 Q_{\text{serap}} &= H_{\text{air keluar}} - H_{\text{air masuk}} \\
 78132,47923 &= 19,99 \text{ m} - 5,00 \text{ m} \\
 &= 14,99 \text{ m} \\
 \text{massa air} &= 5212,47 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Neraca Panas Cooler

Tabel B.37 Neraca panas total pada *cooler*

| Masuk (kkal) | | Keluar (kkal) | |
|--------------|-----------|---------------|-----------|
| Hin | 234281,07 | Hout | 156148,59 |
| | | Q serap | 78132,48 |
| Total | 234281,07 | | 234281,07 |

APPENDIX C

SPESIFIKASI ALAT

1 Tangki Penyimpan Methanol (F-111)

Fungsi : Menyimpan methanol pada tekanan 15 atm
dan temperatur 30 °C

Menentukan tipe tangki penyimpanan.

Tipe Tangki yang dipilih yaitu berbentuk silinder tegak dengan dasar rata dan atap berbentuk *torispherical* dengan pertimbangan :

- a Bahan baku yang disimpan berwujud cair
- b Kondisi operasi tangki pada tekanan max 15 atm

Berdasarkan literatur "A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics" - Ulrich, tangki penyimpanan dengan spesifikasi seperti di atas dapat memenuhi kriteria kondisi operasi (Max 15 atm dan 40°C)

Menentukan bahan konstruksi.

Bahan konstruksi yang dipilih adalah Carbon Steel SA-283 Grade C dengan pertimbangan :

- a Bahan baku berwujud cairan korosif
- b Cocok untuk tangki dengan ketebalan < 1,25 in
- c Harga relatif lebih murah
- d *Maximum allowable stress* cukup besar : 12650 psi

Menentukan dimensi tangki.

Tabel C.1 Data Densitas Komponen Tangki
Penyimpanan Methanol

| Komponen | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₄ |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| CH ₃ OH | 2,3267 | 0,27073 | 512,5 | 0,2471 |
| H ₂ O | -13,851 | 0,64038 | -0,0019 | 2E-06 |

Untuk menghitung densitas metanol

$$\rho = C1/C2^{[1 + (1-T/C3)^{C4}]}$$

Berdasarkan perry
edisi 8, halaman 2-
103

Untuk menghitung densitas air

$$\rho = C1 + C2T + C3T^2 + C4T^3$$

| Komponen | BM | xi | ρ (kg/m ³) | ρ campuran |
|--------------------|----|--------|------------------------|------------|
| CH ₃ OH | 32 | 0,9985 | 996,3714 | 994,876848 |
| H ₂ O | 18 | 0,0015 | 66,43025 | 0,09964538 |
| Total | 50 | 1 | 1062,802 | 994,976493 |

Menentukan dimensi tangki.

Bahan baku methanol disimpan untuk jangka waktu : 7 hari

Jumlah methanol yang ditampung untuk kebutuhan produksi,

$$2589,03 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times 24 \text{ jam} \times 7 \text{ hari} = 434956,96 \frac{\text{kg}}{\text{hari}}$$

Volume methanol yang ditampung,

$$\begin{aligned} & \text{Jumlah} \\ & \text{methanol} \times \frac{1}{994,98 \text{ kg/m}^3} \\ 434956,96 \text{ kg} \times \frac{1}{994,98 \text{ kg/m}^3} &= 437,15 \text{ m}^3 \\ &= 2749,61 \text{ bbl} \end{aligned}$$

Menentukan diameter dan tinggi tangki,
rasio H/D = 2

Diameter tangki ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} V_{\text{liquid}} &= \left[\left(\frac{\pi D^2}{4} \right) H + \left(2 \cdot 0,000049 D^3 \right) \right] \\ 437,2 &= \left(\frac{3,14 \times D^2}{4} \right) 2D + \left(0,000049 \cdot 2D^3 \right) \\ 437,2 &= \left(0,79 \times 2D^3 + 0,000049 \cdot 2D^3 \right) \\ D^3 &= \frac{437,2}{1,57} \\ &= 278,4 \text{ m} \\ D &= 6,53 \text{ m} = 21,42 \text{ ft} = 257,08 \text{ in} \\ r &= 3,265 \text{ m} = 10,71 \text{ ft} \\ H &= D \\ &= 6,53 \text{ m} = 21,42 \text{ ft} \end{aligned}$$

Menghitung tebal dan panjang *shell course*,

Tebal *shell course* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.16 dan 3.17 (Brownell & Young)

Berdasarkan *circumferential stress*,

$$t = \frac{p \times d}{2 \times f \times E - P} + c$$

Dimana:

$$\begin{aligned} t &= \text{Thickness of shell} && , \text{ in} \\ p &= \text{Internal pressure} && , \text{ psi} \\ d &= \text{Inside diameter} && , \text{ in} \\ f &= \text{Allowable stress} && , \text{ psi} \\ E &= \text{Joint efficiency} && , - \\ c &= \text{Corrosion allowance} && \text{ in} \end{aligned}$$

Karena densitas dari methanol tidak melebihi densitas air pada 60°F, maka digunakan persamaan 3.17 untuk *hydrostatic test*.

$$\begin{aligned} P_h &= \rho_{\text{metanol}} \times \frac{H}{144} \\ P &= 1,05 \times (P_{\text{op}} + P_h) \\ &= 1,05 \times \left\{ 220 + \left(\rho_{\text{met}} \times \frac{H}{144} \right) \right\} \\ &= 1,05 \times \left\{ 220 + \left(62,1141 \times \frac{21,42}{144} \right) \right\} \\ &= 240,703 (H - 1) \text{ in} \end{aligned}$$

Untuk pengelasan, digunakan *double-welded butt joint*, dengan spesifikasi sebagai berikut,

$$E = 80\% \quad (\text{Brownell \& Young, page 254})$$

$$c = 0,1250$$

$$f = 12650$$

Sehingga t dapat dihitung,

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{P_{des} \times d}{2 \times f \times E - P} + c \\
 &= \frac{240,703 \times 257,1}{2 \times 12650 \times 80\% - 240,703} + 0,1250 \\
 &= 3,219 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Menghitung tebal head : berdasarkan pers 7.76 dan 7.77 page. 138 Brownell (1959), tebal head diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{1}{4} (3 + \sqrt{rc/ri}) \\
 t &= \frac{P \times r_c \times W}{2f.E - 0,2.P}
 \end{aligned}$$

Dari tabel 5.7 page 89 Brownell & Young didapatkan

$$r_c = r = 180 \text{ in}$$

$$r_i = i_c r = 14 \frac{7}{16} \text{ in}$$

$$\begin{aligned}
 W &= 0,25 \times (3 + 3,5) \\
 &= 1,63 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_h &= \frac{P \times r_c \times W}{2f.E - 0,2.P} \\
 &= \frac{240,7 \times 180 \times 1,63}{(2 \times 12650 \times 80\%) - (0,2 \times 240,7)} \\
 &= 3,50343 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Menghitung tinggi head

Berdasarkan penentuan dimensi *dished head* pg. 87

Brownell (1959)

$$a = \frac{ID}{2} = \frac{257}{2} = 128,5 \text{ in}$$

$$BC = rc - icr = 180 - 14 \frac{7}{16} = 165,56 \text{ in}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - icr = 129 - 14,4 = 114 \text{ in}$$

$$AC = (BC^2 - AB^2)^{0,5} = 119,965 \text{ in}$$

$$b = rc - AC = 180 - 120 = 60,035 \text{ in}$$

Dari tabel 5.6 pg. 88 Brownell (1959), untuk tebal head $1 \frac{3}{4}$ in diperoleh harga $sf = 1 \frac{1}{2} - 4 \frac{1}{2}$.

Dipilih $sf = 4 \frac{1}{2}$

$$\begin{aligned} Hh &= th + b + sf \\ &= 3,50 + 60 + 4,5 \\ &= 68,04 \text{ in} = 1,7 \text{ meter} \end{aligned}$$

Resume Tangki Penyimpan Methanol

| Spesifikasi | Keterangan |
|--------------------|--|
| Kode Alat | = F-111 |
| Fungsi | = Menyimpan Umpan metanol |
| Tipe Tangki | = <i>Cylindrical - Torispherical Roof - flat Bottom Tank</i> |
| Bahan Konstruksi | = Carbon Steel SA-283 Grade C |
| Tekana Operasi | = 15 atm |
| Tekanan Desain | = 16,38 atm |
| Kapasitas Tangki | = 437,15 m ³ |
| Tinggi Tangki | = 22,007 ft |

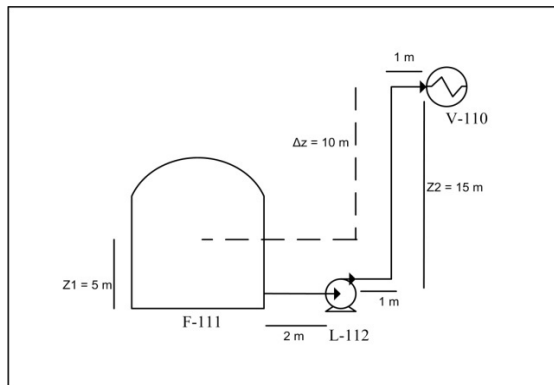
Diameter Tangki

Diameter dalam = 21,42 ft

Diameter luar = 22,01 ft

Tebal *Shell* = 3,219 inTinggi *Shell* = 5,67 ftTebal *Head* Tangki = 3,503 in

2 Methanol Feed Pump (L-112)



Fungsi: Untuk mengalirkan feed methanol dari storage tank ke vaporizer

Tujuan perancangan

- 1 Menentukan jenis pompa yang digunakan
- 2 Menghitung tenaga pompa yang digunakan
- 3 Menghitung tenaga motor

Menentukan jenis pompa yang digunakan,

Pompa yang dipilih yaitu pompa

- Viskositas liquida yang rendah
- Konstruksi sederhana dan harga yang relatif lebih murah
- Tidak memerlukan *space* yang luas
- Biaya *maintenance* relatif lebih rendah

- Menghitung tenaga pompa yang digunakan

a. Menghitung kapasitas pompa

$$T = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 303 \text{ K}$$

● Densitas

Tabel C.2 Data Densitas Komponen Tangki
Penyimpanan Methanol

| Komponen | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₄ |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| CH ₃ OH | 2,3267 | 0,27073 | 512,5 | 0,2471 |
| H ₂ O | -13,851 | 0,64038 | -0,0019 | 2E-06 |

(Sumber: Perry's Chemical handbook)

Untuk menghitung densitas metanol

$$\rho = C_1/C_2^{[1 + (1-T/C_3)^{C_4}]}$$

Berdasarkan
perry edisi 8,
halaman 2-103

Untuk menghitung densitas air

$$\rho = C_1 + C_2T + C_3T^2 + C_4T^3$$

| Komponen | BM | xi | ρ (kg/m ³) | ρ campuran |
|--------------------|----|--------|------------------------|------------|
| CH ₃ OH | 32 | 0,9985 | 996,371405 | 994,876848 |
| H ₂ O | 18 | 0,0015 | 66,4302546 | 0,09964538 |
| Total | 50 | 1 | 1062,80166 | 994,976493 |

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, densitas campuran} &= 994,98 \text{ kg/m}^3 \\ &= 62,12 \text{ lb/ft}^3 \end{aligned}$$

- Viskositas

Tabel C.3 Data Viskositas Komponen Tangki
Penyimpanan Methanol

| Komponen | A | B | C | D |
|--------------------|----------|-----------|----------|-----------|
| CH ₃ OH | -9,0562 | -1,25E+03 | 2,24E-02 | -2,35E-05 |
| H ₂ O | -10,2158 | 1,79E+03 | 1,77E-02 | -1,26E-06 |

(Sumber: Yaws, 1999)

Untuk menghitung viskositas

$$\log_{10} \eta_{liq} = A + B/T + C/T^2$$

| Komponen | xi | log μ (cP) | μ (cP) | xi. μ (cP) |
|--------------------|--------|----------------|------------|----------------|
| CH ₃ OH | 0,9985 | -8,57 | 2,66E-09 | 2,66E-09 |
| H ₂ O | 0,0015 | 0,96 | 9,04E+00 | 1,36E-02 |
| Total | 1 | -7,61816 | 9,04206524 | 0,0135631 |

Sehingga didapatkan viskositas campuran

adalah = 1,4E-02 cP

- Mass rate fluida

$$\begin{aligned}
 &= \text{massa} \times \frac{1}{3600} \frac{\text{jam}}{\text{s}} \\
 &= 2589,03 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times \frac{1}{3600} \frac{\text{jam}}{\text{s}} \\
 &= 0,72 \frac{\text{kg}}{\text{s}}
 \end{aligned}$$

- Debit fluida (Q)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Mass rate fluida kg/s}}{\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}} \times \frac{1}{0,5} \frac{\text{lb}}{\text{kg}} \\
 &= \frac{0,72 \text{ kg/s}}{994,98 \text{ lb/ft}^3} \times \frac{1}{0,5} \frac{\text{lb}}{\text{kg}}
 \end{aligned}$$

$$= 0,0016 \text{ ft}^3/\text{s}$$

b Menghitung diameter optimum pipa
untuk menentukan diameter pipa menggunakan persamaan:

$$\text{Diopt} = 3,9 \times (Q)^{0,45} \times \rho^{0,13}$$

asumsi aliran turbulen > 2100

$$\begin{aligned} \text{Di, opt} &= 3,9 \times (0,0016)^{0,45} \times (62,12)^{0,13} \\ &= 0,37 \text{ in} \end{aligned}$$

dari Tabel 11 Appendix Process Heat Transfer (Kern, 1983)

| | | | | |
|-----------|---|------|-----------------|-------------------------|
| D nominal | = | 1,5 | in | |
| Sch no. | = | 40 | | |
| OD | = | 1,9 | in | = 0,158 ft |
| ID | = | 1,61 | in | = 0,134 ft |
| a | = | 2,04 | in ² | = 0,014 ft ² |

Surface/Lin.ft

| | | | |
|---------|---|-------|---------------------|
| Outside | = | 0,498 | ft ² /ft |
| Inside | = | 0,422 | ft ² /ft |

c Menghitung Reynold Number (NRe)

kecepatan linier larutan

$$\begin{aligned} v &= \frac{Q}{A} = \frac{0,0016 \text{ ft}^3/\text{s}}{0,0142 \text{ ft}^2} = 0,113 \frac{\text{ft}}{\text{s}} \\ &= 0,034 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\text{NRe} = \frac{\rho \times D \times v}{\mu} = \frac{62,12 \times 0,134 \times 0,113}{7\text{E-}04 \times 0,01}$$

$$= 103201,44 \quad (\text{turbulen})$$

d Perhitungan friction loss

- Contraction loss at tank exit

$$\begin{aligned} K_c &= 0,55 \quad (1 - A_2/A_1) \\ &= 0,55 \quad (1 - 0) \\ &= 0,55 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_c &= K_c (v^2/2\alpha) \\ &= 0,55 \times \left(\frac{0,034^2}{2 \times 1} \right) \\ &= 0,0003 \quad \text{J/kg} \end{aligned}$$

- Friction in the straight pipe

Perhitungan total panjang pipa lurus yang digunakan :

| | |
|--------------------------------------|---------------|
| - Tangki ke pompa | : 2 m |
| - Pompa ke elbow 1 | : 1 m |
| - Pompa ke elbow 2 | : 15 m |
| - Elbow 2 ke vaporizer | : 1 m |
| <u>Total (ΔL)</u> | <u>: 19 m</u> |

$$\text{dengan } \frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,000046}{1,61 / 39,37} = 0,00112$$

$$\text{dan } NRe = 103201,4384$$

maka dari Fig 2.10-3 Geankoplis, nilai $f = 0,0053$

sehingga, friksi total pada pipa lurus :

$$\begin{aligned} F_f &= 4f \cdot \frac{\Delta L}{D} \cdot \frac{v^2}{2} \\ &= 4 \times 0,0053 \times \frac{19}{0,041} \times \frac{0,1^2}{2} \\ &= 0,66 \quad \text{J/kg} \end{aligned}$$

- Friction in the elbows

digunakan elbow standar 90°

dari tabel 2.10-1 Geankoplis, K_f Elbow 90° = 0,75

$$\begin{aligned} h_f &= K_f \cdot \frac{v^2}{2} \\ &= 0,75 \times (0,034^2 / 2) \\ &= 0,00089 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

- Friction in the valve

digunakan 1 jenis valve yaitu gate valve

dari tabel 2.10-1 Geankoplis, K_f Gate Valve = 0,17

$$\begin{aligned} h_f &= K_f \cdot \frac{v^2}{2} \\ &= 0,17 \times (0,034^2 / 2) \\ &= 0,0001 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

- Expansion loss at the tank entrance

$$\begin{aligned} K_{ex} &= \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \\ &= (1 - 0)^2 = 1 \end{aligned}$$

diasumsikan $A_2 > A_1$, maka $A_2 > A_1 = 0$

$$\begin{aligned} h_{ex} &= K_{ex} \cdot \frac{v^2}{2} \\ &= 1 \times (0,0344^2 / 2) \\ &= 0,0006 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

- Total frictional loss (ΣF)

$$\Sigma F = h_c + F_f + h_{f(\text{elbow})} + h_{f(\text{valve})} + h_{ex}$$

$$= 0,0003 + 0,66 + 0,0001 + 0,0009 + 0,0006$$

$$= 0,66 \text{ J/kg}$$

e. Perhitungan daya pompa

Menggunakan persamaan energi mekanis :

$$(1/2\alpha)((V2av)^2 - (V1av)^2) + (g(Z2 - Z1)) + (P2 - P1)/\rho + \Sigma F + W_s = 0$$

dimana :

$$v_1 = 0 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 0,03 \text{ m/s}$$

$$\alpha = 1 \text{ (turbulen)}$$

$$P_1 = 1 \text{ atm}$$

$$P_2 = 1,3 \text{ atm}$$

$$\rho = 994,98 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta z = 10 \text{ m}$$

$$-W_s = (1/2\alpha)((V2av)^2 - (V1av)^2) + (g(Z2 - Z1)) + (P2 - P1)/\rho + \Sigma F$$

$$-W_s = \left(\frac{1}{2 \cdot 1} \right) (0,03^2 - 0^2) + (9,81 \times 10) + 0$$

$$+ 0,66$$

$$-W_s = 98,72 \text{ J/kg}$$

$$\text{dengan } Q = 0,0016 \text{ ft}^3/\text{s} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ m}} \times \frac{7,481 \text{ gal}}{1 \text{ ft}^3}$$

$$= 0,72 \text{ gal/min}$$

berdasarkan Fig 3.3-3 Geankoplis, didapatkan $\eta = 12 \%$

$$\begin{aligned}
 \text{brake hp} &= \frac{-W_{s.m}}{\eta \cdot 1000} = \frac{98,72 \times 0,72}{0,16 \times 1000} \\
 &= 0,44 \text{ kJ/s} \\
 &= 0,44 \text{ kW} \\
 &= 0,60 \text{ hp}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Peter & Timmerhaus fig.14-38
 didapatkan efisiensi motor = 83 %

$$\text{power motor} = \frac{\text{brake kW}}{\eta \text{ motor}} = \frac{0,44}{0,83} = 0,535 \text{ hp}$$

Resume Spesifikasi Pompa

| Spesifikasi | Keterangan |
|-----------------|--|
| Kode Alat | = L-112 |
| Fungsi | = untuk memompa bahan baku methanol dari tangki penyimpanan menuju vaporizer |
| Tipe Pompa | = <i>Centrifugal Pump</i> |
| Kapasitas Pompa | = 0,0016 cuft/s |
| Power Pompa | = 0,60 hp |
| Ukuran Pipa | |
| D Nominal | = 1,5 in |
| ID | = 1,61 in |
| OD | = 1,9 in |
| Schedule No. | = 40 |
| Bahan | = <i>Commercial Steel</i> |
| Power Motor | = 0,53 hp |

3 Absorber (D-310)

Fungsi = Untuk menghilangkan gas CO, CO₂, O₂ dan N₂ yang tidak ikut bereaksi

Bentuk = Silinder vertikal dengan tutup atas dan bawah standard dished head

Bahan = *Carbon steel SA-21 grade A*

Jumlah = 1 buah

Laju alir gas, F_g = 9837,33 kg/jam

Laju alir air, F_1 = 5047,89 kg/jam

Densitas gas masuk

| Komponen | A | B | n | Tc |
|--------------------------------|---------|---------|---------|--------|
| CH ₃ OH | 0,27197 | 0,272 | 0,2331 | 175,47 |
| N ₂ | 0,3125 | 0,285 | 0,2925 | 126,1 |
| O ₂ | 0,43533 | 0,28772 | 0,2924 | 154,58 |
| CO ₂ | 0,46382 | 0,2616 | 0,2903 | 304,19 |
| CO | 0,29818 | 0,27655 | 0,29053 | 132,92 |
| CH ₂ O | 0,26192 | 0,2224 | 0,2857 | 408 |
| CH ₂ O ₂ | 0,36821 | 0,24296 | 0,23663 | 580 |
| H ₂ O | 0,3471 | 0,274 | 0,28571 | 647,13 |

Cara menghitung densitas campuran:

$$\text{density} = A \cdot B \cdot (1 - T/T_c)^n$$

Berdasarkan Yaws 1999

| Komponen | BM | xi | ρ (kg/m ³) | ρ campuran ($\rho \cdot x_i$) |
|--------------------------------|------------|----------|-----------------------------|--------------------------------------|
| CH ₃ OH | 32 | 0,0042 | 189,933838 | 0,79860124 |
| N ₂ | 28 | 0,58208 | 147,842803 | 86,0570173 |
| O ₂ | 32 | 0,02518 | 254,128628 | 6,39943091 |
| CO ₂ | 44 | 3,5E-07 | 419,323513 | 0,00014519 |
| CO | 28 | 4,4E-06 | 147,687922 | 0,00065091 |
| CH ₂ O | 30 | 0,24194 | 268,904335 | 65,0590313 |
| CH ₂ O ₂ | 46 | 0,00073 | 412,554899 | 0,30173101 |
| H ₂ O | 18 | 0,14585 | 403,66483 | 58,8751698 |
| Total | 258 | 1 | 2244,04077 | 217,491778 |

Densitas campuran gas, ρ_g = 217,5 kg/m³

Densitas campuran air, ρ_1 = 422,6 kg/m³

BM gas rata-rata = 38,13 kg/kmol

Data untuk menghitung viskositas
gas

| Komponen | A | B | C |
|--------------------------------|---------|----------|-----------|
| CH ₃ OH | -14,236 | 0,389 | -6,28E-05 |
| N ₂ | 42,606 | 0,475 | -9,88E-05 |
| O ₂ | 44,224 | 5,62E-01 | -1,13E-04 |
| CO ₂ | 11,811 | 4,99E-01 | -1,09E-04 |
| CO | 23,811 | 5,39E-01 | -1,54E-04 |
| CH ₂ O | -6,439 | 4,48E-01 | -1,01E-04 |
| CH ₂ O ₂ | -13,139 | 2,75E-01 | 1,92E-04 |
| H ₂ O | -36,626 | 4,29E-01 | -1,62E-05 |

Cara menghitung viskositas

$$\eta_{\text{gas}} = A + B T + C T^2$$

Berdasarkan Yaws 1999

Viskositas gas campuran

| Komponen | x_i | μ (kg/m.s) | μ campuran ($\mu \cdot x_i$) |
|--------------|----------|-------------------|--|
| CH3OH | 0,0042 | 1,2568E-05 | 5,2843E-08 |
| N2 | 0,58208 | 2,1004E-05 | 1,2226E-05 |
| O2 | 0,02518 | 2,4289E-05 | 6,1165E-07 |
| CO2 | 3,5E-07 | 1,8716E-05 | 6,4804E-12 |
| CO | 4,4E-06 | 2,0781E-05 | 9,1588E-11 |
| CH2O | 0,24194 | 1,5029E-05 | 3,6362E-06 |
| CH2O2 | 0,00073 | 1,2028E-05 | 8,797E-09 |
| H2O | 0,14585 | 1,253E-05 | 1,8276E-06 |
| Total | 1 | 0,00013695 | 1,8363E-05 |

Viskositas gas, $\mu_g = 1,836E-05$ kg/m.s

Viskositas air, $\mu_l = 9,19E-06$ kg/m.s

Dari data di atas, maka didapatkan:

Laju alir gas, F_g : 236096,01 kg/detik

Laju alir air, F_l : 121149,31 kg/detik

Densitas gas masuk, ρ_g : 217,49 kg/m³

Densitas air masuk, ρ_l : 422,55 kg/m³

Volume gas, V_g : 1085,54 m³/jam

Viskositas gas, μ_g : 1,84E-05 kg/m.s

Viskositas air, μ_l : 9,19E-06 kg/m.s
 BM gas rata-rata : 26,3917 kg/kmol

Perhitungan Dimensi Tower

Menentukan nilai absis dan ordinat pada fig. 6.34 pg. 195 Treybal

$$\begin{aligned}\text{Nilai absis} &= \frac{L}{G} \left(\frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g} \right)^{0,5} \\ &= \frac{121149,31}{236096,01} \left(\frac{217,49}{422,55 - 217,49} \right)^{0,5} \\ &= 0,52846\end{aligned}$$

dimana pressure drop ditentukan 400 N/m²/m

$$\text{Nilai ordinat} = \frac{(G')^2 C_f \mu_l^{0,1} J}{\rho_g (\rho_l - \rho_g) g_c} = 0,032$$

Packing menggunakan ceramic raching ring 50 mm.
 Berdasarkan tabel 6.3 pg. 196 Treybal (1981) diperoleh data sbb:

$$\begin{aligned}\text{Tebal dinding} &= 6 \text{ mm} \\ C_f &= 65 \\ \varepsilon &= 0,74 \\ C_D &= 135,6 \\ a_p &= 92 \text{ m}^2/\text{m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 G' &= \left(\frac{0,032 \times \rho_g \times (\rho_l - \rho_g) \times g_c}{C_f \times \mu_l^{0,1} \times 1} \right)^{0,5} \\
 &= \left(\frac{0,032 \times 217,49 \times (422,55 - 217,49)}{65 \times 9,19\text{E-}06^{0,1} \times 1} \right)^{0,5} \\
 &= 11,82
 \end{aligned}$$

$$G = \frac{G'}{BM} = \frac{11,82}{26,392} = 0,4479 \text{ kmol/m}^2.\text{s}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang tower (A)} &= \frac{F_g}{G'} = \frac{236096,01}{11,82} \\
 &= 5,55 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Menghitung Diameter Tower

$$\begin{aligned}
 D_t &= \left(\frac{4A}{\pi} \right)^{0,5} \\
 &= \left(\frac{4 \times 5,55}{3,14} \right)^{0,5} = 2,6586 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 4.18 Ulrich (1984), rasio L/D = 5
Sehingga,

$$\begin{aligned}
 L_t &= 5 \times D_t \\
 &= 5 \times 2,6586 \\
 &= 13,3 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Menghitung Tebal Shell

Joint efficiency, E = 0,85

Allowable stress = 13750 psia

$$\begin{aligned}
 P_{\text{desain}} &= 1,2 \times 18 \text{ psi} = 21,16 \text{ psi} \\
 R_t &= 0,5 \times D_t \\
 &= 0,5 \times 2,6586 \\
 &= 1,3293 \text{ m} \\
 &= 52,334 \text{ in} \\
 C &= 0,125 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan 13.1 pg. 254 Brownel (1959), tebal dinding tangki silinder dengan tekanan dalam ditentukan oleh persamaan berikut:

$$t_s = \frac{P \cdot r_i}{f \cdot E - 0,6 P} + c$$

(pers.13.1 Brownell & Young)

Dimana:

t_s = tebal shell (in)

P = tekanan internal (psi)

r_i = jari – jari dalam (in)

f = tekanan maks. yang diijinkan (psia)

E = efisiensi pengelasan

c = faktor korosi

Ketebalan dinding *shell*

$$t_s = 0,22 \text{ in}$$

Maka digunakan tebal *shell* standar 1/4 in.

Menentukan diameter luar tangki

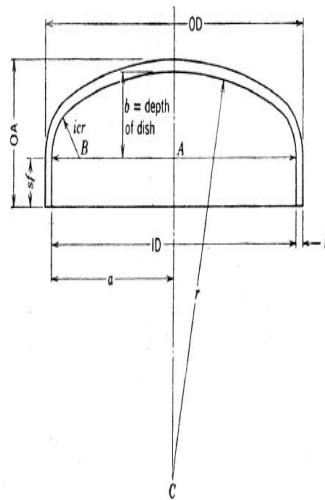
$$\begin{aligned}
 (OD)_s &= (ID)_s + 2 \cdot t_s \\
 &= 105 + 2 \times 0,25 \\
 &= 105 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 5.7
pg. 91 Brownell (1959),
pada OD standar 24 in.
dengan tebal shell 3/16
in. diperoleh harga:

$$rc = 102$$

$$icr = 6 \frac{1}{2}$$

Karena $icr > 6\%$ dari rc ,
maka digunakan
persamaan 7.76 & 7.77
pg. 138 Brownell (1959),



$$W = \frac{1}{4} \left(3 + \left(\frac{rc}{icr} \right)^{0.5} \right)$$

dalam hal ini : W = faktor intensifikasi stress

$$W = 1,74$$

$$t_h = \frac{P \cdot rc \cdot W}{2 \cdot f \cdot E \cdot 0.2 \cdot P} + c$$

$$t_h = 0,285739 \text{ in}$$

Digunakan tebal head standar $3/16 \text{ in.}$

Menghitung tinggi head

$$ID = 104,668 \text{ in}$$

$$OD = 105,168 \text{ in}$$

Berdasarkan penentuan dimensi *dished head* pg. 87 Brownell (1959) diperoleh harga:

$$a = \frac{ID}{2} = \frac{104,67}{2} = 52 \text{ in}$$

$$BC = rc - icr = 102 - 6 \frac{1}{2} = 95,5 \text{ in}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - icr = 52,3 - 6 \frac{1}{2} = 45,83 \text{ in}$$

$$AC = (BC^2 - AB^2)^{0.5} = 83,78 \text{ in}$$

$$b = rc - AC = 102 - 83,78 = 18,22$$

Dari tabel 5.6 pg. 88 Brownell (1959), untuk tebal head 3/16 in diperoleh harga $sf = 1 \frac{1}{2} - 2$. Dipilih $sf = 2$

Maka :

$$\begin{aligned} Hh &= th + b + sf \\ &= 0,2857 + 18,2 + 2 \\ &= 20,5033 \text{ in} \end{aligned}$$

Resume Spesifikasi Absorber

| Spesifikasi | Keterangan |
|-------------|--|
| Kode Alat | = D-310 |
| Fungsi | = Untuk menghilangkan gas CO, CO ₂ , O ₂ dan N ₂ yang tidak ikut bereaksi |
| Bentuk | = Silinder vertikal dengan tutup atas dan bawah standard dished head |
| Bahan | = <i>Carbon steel SA-21 grade A</i> |
| Diameter | = 2,6586 m |
| Tinggi | = 13,29 m |
| Tebal head | = 1/4 in |

4. Blower (G-121)

Fungsi : Mengalirkan udara bebas ke dehumidifier

Jenis : blower sentrifugal

Jumlah : 1 unit

Bahan konstruksi : carbon steel

Kondisi operasi :

Temperatur = $30^{\circ}\text{C} = 303,15\text{ K}$

Tekanan = 1 atm

Asumsi tekanan suction (P1) = 741,7 mmHg

Asumsi tekanan discharge (P2) = 769,6 mmHg

Densitas udara

| Komponen | C1 | C2 | C3 | C4 |
|----------|--------|---------|--------|---------|
| Udara | 2,8963 | 0,27633 | 132,45 | 0,27341 |

$$\rho = C1/C2^{[1 + (1-T/C3)^{C4}]}$$

Densitas udara = 1006,72 kg/m³

- Laju alir volumetrik gas, $Q = \frac{F}{\rho}$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{7249,28 \text{ kg/jam}}{1006,72 \text{ kg/m}^3} \\
 &= 7,20 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 &= 0,002 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

- Daya blower (P)

Efisien = 80 %

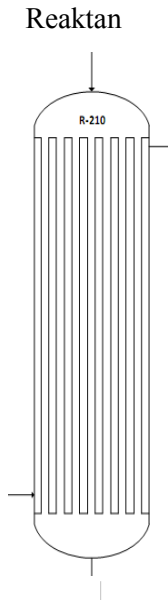
$$P = \frac{144 \times \eta \times Q}{33000} \quad (\text{Perry \& Green, 1999})$$

$$= \frac{144 \times 0,8 \times 7,20}{33000}$$

$$= 0,0251 \text{ HP}$$

maka dipilih blower dengan daya motor 0,1 hp

5. Reaktor (R-210)



Kode : R-210

Fungsi : Mereaksikan metanol fase vapor dan udara
dengan bantuan katalis Iron Molybdenum

Tujuan :

1. Menentukan kondisi umpan
2. Menghitung tinggi reaktor
3. Menghitung volume reaktor

Berdasarkan Turton, 2009 karena suhu reaktor yang tinggi reaksinya bisa dianggap seketika

1. Menentukan Kondisi Feed

AMenghitung BM Feed

Untuk menghitung BM feed digunakan persamaan :

$$BM = \sum (Y_i \times B_{mi})$$

$$\text{Laju Feed} = 9837,33 \text{ kg/jam}$$

| Komponen | BM | kmol/jam | Y_i | $Y_i \times B_{mi}$ |
|--------------------|----|----------|---------|---------------------|
| O ₂ | 32 | 47,57 | 0,14281 | 4,5699832 |
| N ₂ | 28 | 204,51 | 0,61399 | 17,191842 |
| CH ₃ OH | 32 | 80,79 | 0,24255 | 7,7614695 |
| H ₂ O | 18 | 0,22 | 0,00065 | 0,0116597 |
| TOTAL | | 333,07 | 1 | 29,534954 |

Data yang digunakan untuk P_c , T_c , dan ω
diperoleh dari Yaws

| Komponen | Y_i | $P_c(\text{atm})$ | $T_c(\text{K})$ | ω | $Y_i \times P_c$ | $Y_i \times T_c$ | $Y_i \times \omega$ |
|--------------------|---------|-------------------|-----------------|----------|------------------|------------------|---------------------|
| O ₂ | 0,14281 | 49,7705 | 154,6 | 0,022 | 7,10783 | 22,076 | 0,003 |
| N ₂ | 0,61399 | 33,4962 | 126,1 | 0,04 | 20,5665 | 77,425 | 0,025 |
| CH ₃ OH | 0,24255 | 79,9013 | 512,6 | 0,566 | 19,3797 | 124,32 | 0,137 |
| H ₂ O | 0,00065 | 217,666 | 647,1 | 0,345 | 0,141 | 0,4192 | 2E-04 |
| TOTAL | 1 | 380,834 | 1440 | 0,973 | 47,195 | 224,24 | 0,165 |

Feed masuk reaktor pada kondisi :

$$T = 300 \text{ } ^\circ\text{C} = 573 \text{ K}$$

$$P = 1,3 \text{ atm}$$

$$T_C = 224 \text{ K} \quad P_C = 47,2 \text{ Atm} \quad \omega = 0,165$$

$$T_R = \frac{T}{T_C} \quad B^0 = 0,08 - \frac{0,4}{(T_R)^{1,6}}$$

$$= 2,56 \quad = -0,01106$$

$$P_R = \frac{P}{P_C} \quad B^1 = 0,14 - \frac{0,2}{(T_R)^{4,2}}$$

$$= 0,03 \quad = 0,13566$$

$$\frac{B}{R} \times \frac{P_C}{T_C} = B^0 + \omega \times B^1$$

$$= -0,011 + 0,1652 \times 0,1357$$

$$= 0,0113483$$

$$Z = 1 + \frac{B}{R} \times \frac{P_C}{T_C} \times \frac{P_R}{T_R}$$

$$= 1 + 0,011348 \times \frac{0,03}{2,56}$$

$$= 1,0001$$

C Menghitung Density Feed (ρ)

$$\rho = \frac{P.BM}{Z.R.T} = 0,00082 \text{ gram/cm}^3 = 0,8165698 \text{ kg/m}^3$$

Data untuk menghitung viskositas
gas

| Komponen | A | B | C |
|--------------------|---------|----------|-----------|
| CH ₃ OH | -14,236 | 0,389 | -6,28E-05 |
| N ₂ | 42,606 | 0,475 | -9,88E-05 |
| O ₂ | 44,224 | 5,62E-01 | -1,13E-04 |
| H ₂ O | -36,626 | 4,29E-01 | -1,62E-05 |

Berdasarkan Yaws 1999

Viskositas gas campuran

| Komponen | xi | μ (cP) | μ campuran (μ.xi) |
|--------------------|----------|-------------------|----------------------|
| CH ₃ OH | 0,24255 | 188,254965 | 45,660474 |
| N ₂ | 0,61399 | 282,342095 | 173,356449 |
| O ₂ | 0,14281 | 329,148823 | 47,0063936 |
| H ₂ O | 0,00065 | 203,87207 | 0,13206033 |
| Total | 1 | 1003,61795 | 266,155377 |

$$\mu = 0,0266 \text{ cP} = 0,0643856 \text{ lb/ft.jam}$$

D. Laju Volumetrik Feed (V)

$$V = (Z.n.R.T)/P$$

$$\text{Laju feed} = 333074,293 \text{ mol/jam} = 92,520637 \text{ mol/det}$$

$$V = (0.9923 \times 14701.5737 \text{ mol/det} \times 32.057$$

$$= 1307452,397 \text{ cm}^3/\text{det}$$

$$= 1,3075 \text{ m}^3/\text{det}$$

E Menghitung kebutuhan katalis

Reaktor Fixed Bed menggunakan Katalis Iron molybdenum dengan data sebagai berikut :

| | |
|---------------------------|---|
| Bentuk | : Spheres |
| Bulk density (ρ_p) | : Iron oxide = $1,28 \text{ g/cm}^3 = 1280 \text{ kg/m}^3$ molybdenun = $1,57 \text{ g/cm}^3 = 1570 \text{ kg/m}^3$ rata-rata = 1425 kg/m^3 |
| Surface Area | : Iron oxide = $337 \text{ m}^2/\text{g}$ molybdenum = $17 \text{ m}^2/\text{g}$ rata-rata = $177 \text{ m}^2/\text{g}$ |

F Menghitung kebutuhan Katalis

$$\text{Residence time} = 0,01 \text{ s (perry, tabel 19.1)}$$

$$\text{Kebutuhan katalis} = 2,778\text{E-}06 \frac{\text{liter katalis}}{\text{liter feed /jam}}$$

$$\begin{aligned} \text{Volum katalis} &= \text{kebutuhan katalis} \times \text{laju vol umpan} \\ &= 0,004 \text{ l} = 4\text{E-}06 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Massa katalis} = 0,00518 \text{ kg}$$

Menghitung Diameter dan Tinggi Reaktor

Asumsi liquid menempati 80% dari volume reaktor, maka

$$\begin{aligned} v_{\text{reaktor}} &= \frac{100}{80} \times (V_{\text{katalis}} + V_{\text{feed}}) \\ &= 1,25 \times 3,34643 \\ &= 32,5 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Diambil } L/D = 2 \quad L = 2 D$$

Jadi :

$$V_{reakto} = 1/4 p D L$$

$$32 = 0,25 \times 3,14 \times 2 D^3$$

$$D = 2,75 \text{ m} = 108,1 \text{ in}$$

$$L = 5,49 \text{ m} = 216,2 \text{ in}$$

Sehingga :

$$\text{Diameter reaktor} = 108 \text{ in} = 114 \text{ in} = 2,9 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi reaktor} = 216,2 \text{ in} = 18,02 \text{ ft} = 5,5 \text{ m}$$

*** Perhitungan tebal bejana (Brownell)**

$$p = 110\% \times P = 1,3 \text{ atm} = 19,11 \text{ psia}$$

$$D = 114 \text{ in}$$

$$f = 20000 \text{ psia (Brownell, Hal 252 untuk SA-182)}$$

$$E = 1 \text{ (Tabel 13.2, Hal 254 untuk Double-welded butt joint)}$$

$$C = 0,25 \text{ in}$$

$$t_s = \frac{pD}{2(fE - 0.6P)} + C$$

$$= \frac{19,11 \times 114}{2 (20000 \times 0,8 - 0,6 \times 19,11)} + 0,25$$

$$t_s = 0,32 \text{ in}$$

$$\text{Dipilih } t_s = 2 \text{ in}$$

Perhitungan tebal tutup

Dipilih tutup : Elliptical Dished head karena P

$$f = 20000 \text{ psi (Brownell, Appendiks D, Item 4, Hal}$$

$$E = 1 \text{ (Tabel 13.2 hal 254 untuk double welded butt joint)}$$

$$c = 0,3 \text{ in}$$

$$k = a/b = 2$$

Dipilih bentuk elliptical head menggunakan

$$(7-56) : V = \frac{2 + 2^2}{6} =$$

7-57:

$$\begin{aligned} th &= \frac{pdV}{(2fE - 0.2p)} + c \\ &= \frac{19 \times 114 \times 1}{2 \times 20000 \times 0,8 - 0,2 \times 19} + 0,3 \\ &= 0,3180956 \end{aligned}$$

Dipilih = 2 in

Spesifikasi *tube*

Pemilihan diameter *tube* ditentukan berdasarkan ukuran butir katalis agar memberikan perpindahan panas yang maksimal. Berikut ini merupakan tabel hubungan antara D_p/ID dengan h_w/h

| | | | | | | |
|----------|------|-----|------|-----|------|-----|
| D_p/ID | 0,05 | 0,1 | 0,15 | 0,2 | 0,25 | 0,3 |
| h_w/h | 5,5 | 7 | 7,8 | 7,5 | 7 | 6,6 |

Smith, J.M., 1981

Dimana

h_w = koefisien transfer panas untuk *tube* dengan bahan isian

h = koefisien transfer panas untuk *tube* kosong

Agar memberi transfer panas yang optimum, dipilih

$$\frac{h_w}{h} = 7$$

$$\frac{D_p}{D} = 0,1$$

sehingga diperoleh

$$ID = \frac{0,0057}{0,1} \text{ m} = 0,06 \text{ m} = 2,244 \text{ in}$$

Jumlah *tube*

$$A_c : 3,356 \text{ in}^2 = 0,023$$

$$Length : 10 \text{ ft}$$

$$n_t = \frac{V_l}{A_c \times l}$$

$$n_t = \frac{32,50}{0,02331 \times 10}$$

$$= 139,4 \text{ tube}$$

Resume Reaktor

| Spesifikasi | Keterangan |
|----------------|---|
| No. kode | : R-210 |
| Fungsi | : Mereaksikan metanol fase vapor dan udara dengan bantuan katalis Iron Molybdenum |
| Tipe | : Vertikal drum |
| Kapasitas | : 32,5 m ³ |
| Tipe sambungan | : Double welded but joint |
| Jenis tutup | : Elliptical head |
| Tinggi Reaktor | : 5,491 m |
| Tebal Reaktor | : 2 in |
| Tebal tutup | : 2 in |
| Jumlah | : 1 buah |

6. Dehumidifier (F-111)

Fungsi : Menyerap air dalam udara untuk menghasilkan udara kering

Tipe : Packed Bed Column

Desain : Silinder tegak, tutup bawah dan tutup atas dishead dilengkapi dengan packing rascing ring dan sparger

Feed Inlet Gas :

Udara dari lingkungan

Rate mass = 7249,28 kg/jam

= 15981,763 lb/jam

Densitas campuran uap

| Komp | x_B | T_C (K) | P_C (bar) | ω | $x_B \cdot T_C$ | $x_B \cdot P_C$ | $x_B \cdot \omega$ | BM. x_B |
|------------------|---------------|-----------|-------------|----------|-----------------|-----------------|--------------------|-----------|
| O ₂ | 0,2100 | 155 | 50,43 | 0,02 | 32,5 | 10,6 | 0,005 | 6,72 |
| N ₂ | 0,7899 | 126 | 33,94 | 0,04 | 99,6 | 26,8 | 0,032 | 22,12 |
| H ₂ O | 0,0001 | 647 | 220,6 | 0,35 | 0,06 | 0,02 | 3E-05 | 0,002 |
| Total | 1,0000 | | | | 132 | 37,4 | 0,036 | 28,84 |

$$T_C = 132 \text{ K} \quad P_C = 37,4 \text{ bar} \quad \omega = 0,04$$

$$T_R = \frac{T}{T_C} \quad B^0 = 0,08 - \frac{0,422}{(T_R)^{1,6}}$$

$$= \frac{303}{132} \quad = 0,08 - \frac{0,422}{(0,7)^{1,6}}$$

$$= 2,29 \quad = -0,03$$

$$P_R = \frac{P}{P_C} \quad B^1 = 0,14 - \frac{0,172}{(T_R)^{4,2}}$$

$$= \frac{1,32}{37,4} \quad = 0,14 - \frac{0,172}{(0,7)^{4,2}}$$

$$= 0,04 \quad = 0,13374$$

$$\begin{aligned}\frac{B}{R} \times \frac{P_C}{T_C} &= B^0 + \omega \times B^1 \\ &= -0,03 + 0,04 \times 0,13 \\ &= -0,024\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Z &= 1 + \frac{B}{R} \times \frac{P_C}{T_C} \times \frac{P_R}{T_R} \\ &= 1 + -0,024 \times \frac{0,04}{2,29} \\ &= 1,000\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V' &= \frac{Z \times R \times T}{P \times B_{M_{Camp}}} \quad R = 0,082 \text{ L.atm.K}^{-1}.\text{mol}^{-1} \\ &= \frac{1 \times 0,08 \times 303}{1,317 \times 28,8} \\ &= 0,65 \text{ m}^3/\text{kg} \\ \rho_v &= \frac{1}{V'} = \frac{1}{0,65} = 1,53 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho \text{ campuran} &= 0,0954 \text{ lb/ft}^3 \\ \text{rate volumetrik} &= 167598,02 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 2793,3003 \text{ ft}^3/\text{min}\end{aligned}$$

Direncanakan waktu kontak 1 menit dengan 1 buah tangki, sehingga volume tangki adalah

$$\begin{aligned}&= \text{rate volumetrik (ft}^3/\text{jam)} \times 1/60 \text{ (jam)} \\ &= 2793,3 \text{ ft}^3\end{aligned}$$

Asumsi bahan mengisi 80% volume tangki (20% untuk gas)
sebagai faktor keamanan

Maka volume tangki = 3491,63 ft³

Menentukan ukuran tangki dan ketebalannya

Asumsi dimensi rasio : $L/D = 3$ (Ulrich, Tabel 4-18)

$$\text{volume} = \frac{1}{4} \pi (D^2) L$$

$$3491,63 = \frac{1}{4} \pi (D^2) 3D$$

$$D = 11,402819 \text{ ft}$$

$$D = 12 \text{ ft}$$

$$D = 144 \text{ in}$$

$$L = 36 \text{ ft}$$

$$L = 432 \text{ in}$$

Menentukan tebal minimum shell

Tebal shell berdasarkan ASME Code untuk cylindrical tank :

$$t_s = \frac{P \times r_i}{f \cdot E - 0,6P} + C$$

(Brownell & young, pers 13-1)

Dimana :

t_s = tebal shell (in)

P = tekanan internal (psi)

r_i = jari – jari dalam (in)

E = efisiensi pengelasan (0,8)

c = faktor korosi (in)

f = tekanan maksimum yang diijinkan, bahan konstruksi
carbon steel SA-283-grade C, maka $f = 12650$ psia
(Brownell & Young, table 13-1)

P operasi = 1,3 atm = 19,1 psia

P design diambil 10% lebih besar dari P operasi untuk faktor keamanan

$$\begin{aligned} P \text{ hidrostatik} &= \frac{\rho \times H}{144} \\ &= 0,02 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P \text{ total} &= P \text{ operasi} + P \text{ hidrostatik} \\ &= 19,13 \end{aligned}$$

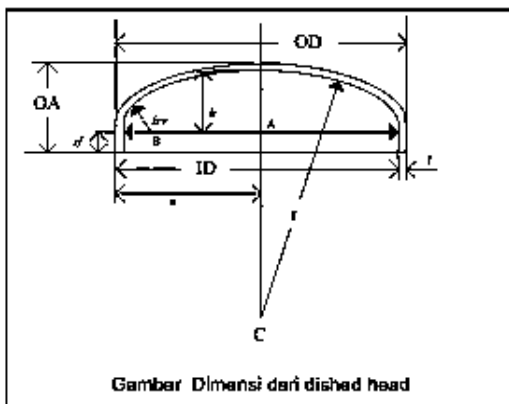
$$\begin{aligned} P \text{ design} &= 1,2 \times P \text{ total} \\ &= 22,96 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r &= 1/2 D \\ &= 72 \text{ in} \end{aligned}$$

$$t_s = 0,253 \text{ in}$$

Maka digunakan tebal shell $\frac{5}{16}$ in

Menentukan tebal head (standard torispherical dished)



Bahan yang digunakan sebagai *head* sama dengan yang untuk *shell*, karena tekanan kurang dari 200 psia, maka dipilih *head* jenis *torispherical dished*

Menghitung tebal *head* (Brownell & Young, pers 13-12)

$$t_h = \frac{0,855 P r_c}{f.E - 0,1P} + C$$

Dimana :

t_h = tebal *dishead* (in)

P = tekanan internal (psi)

r_c = *crown radius* (in) (Brownell & Young, tabel 5.7)

E = efisiensi pengelasan (0,8)

c = faktor korosi (0,125 in)

f = tekanan maksimum yang diijinkan, bahan konstruksi carbon steel SA-283-grade C, maka $f = 12650$ psia (Brownell & Young, table 13-1)

$$D = 144 \text{ in} = 12 \text{ ft}$$

Maka, didapatkan : (Brownell & Young, tabel 5.7)

$$r = 132 \text{ in} = 11 \text{ ft}$$

$$icr = 8,4 \text{ in} = 0,7 \text{ ft}$$

$$t_h = 0,38 \text{ in}$$

$$\text{Maka digunakan tebal shell } \frac{7}{16} \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{ID tutup} &= \text{OD tangki} - 2(t_h) \\ &= 143,2 \text{ in} \\ &= 11,94 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{ID}{2} \\
 &= \frac{143,2}{2} \\
 &= 71,62 \text{ in} \\
 BC &= r - icr \\
 &= 132 - 8,4 \\
 &= 123,6 \text{ in} \\
 AB &= \frac{ID}{2} - icr \\
 &= \frac{143,2}{2} - 8,4 \\
 &= 63,22 \text{ in} \\
 AC &= \sqrt{((BC))^2 - \left(\frac{ID}{2}\right)^2} \\
 &= \sqrt{((123,6))^2 - (71,62)^2} \\
 &= 106,2 \text{ in} \\
 b &= r - AC \\
 &= 132 - 106,2 \\
 &= 25,79 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Dari tabel 5-6 Brownell Young, untuk tebal *head* in head $7/16$, diperoleh harga $sf = 1 \frac{1}{2} - 3 \frac{1}{2}$. Dipilih $sf = 2 \frac{1}{2}$.

$$\begin{aligned}
 OA &= t_h + b + sf \\
 &= 0,38 + 25,8 + 2,5 \\
 &= 28,67 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Menghitung volume *head*

Untuk rasio icr terhadap OD sekitar 6% dengan persamaan 5-1 Brownell & Young, maka didapatkan :

$$V = 0,000049 \times (Di)^3$$

Dimana :

V = volume (ft)³

D_i = diameter (in)

$$V = 146,313 \text{ ft}^3$$

$$= 48,7711 \text{ m}^3$$

Perhitungan Sparger (Perforated Pipe)

Berdasarkan Timmerhaus edisi 4, figure 14-2 dengan asumsi aliran turbulen didapatkan :

$$ID_{\text{optimum}} = 18 \text{ in}$$

Digunakan ukuran standart = 20 in

Dari Timmerhaus Tabel 13 didapatkan :

$$sch = 20$$

$$OD = 20 \text{ in} = 1,667 \text{ ft} = 0,556 \text{ m}$$

$$ID = 19,25 \text{ in} = 1,604 \text{ ft} = 0,535 \text{ m}$$

$$A = 425 \text{ in} = 1,081 \text{ ft}^2$$

Kecepatan linier aliran

$$v = (\text{rate volumetrik}/A) \times (1/60)$$

$$= 43,05 \text{ ft/s}$$

$$\text{dengan : } \mu = 0,99 \text{ cp} = 0,0006682 \text{ lb/ft.s}$$

(Berdasarkan sg bahan)

$$N_{re} = \frac{D V \rho}{\mu} = 9855,95 > 2100$$

dengan $N_{re} > 2100$ maka untuk menentukan diameter sparger menggunakan persamaan 6-5 Treybal

$$d_p = 0,0071 \times N_{re}^{-0,05}$$

Dimana :

d_p = diameter sparger (m)

d = diameter pipa (ID), (m)

$$\begin{aligned} d_p &= 0,0071 \times 9855,95^{-0,05} \\ &= 0,00448 \text{ m} \\ &= 0,01345 \text{ ft} \\ &= 4,0993 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk pemasangan sejajar atau segaris pada pipa, jarak interface dianjurkan minimal menggunakan jarak 3 d_p

maka,

$$\begin{aligned} C &= 3 \times 0,01345 \text{ ft} \\ &= 0,04035 \text{ ft} \end{aligned}$$

Panjang pipa direncanakan 0,75 diameter *shell*, sehingga :

$$\begin{aligned} \text{panjang pipa} &= 0,75 \times 12 \text{ ft} \\ &= 9 \text{ ft} \end{aligned}$$

Posisi sparger direncanakan disusun bercabang 20, maka :

$$\begin{aligned} \text{banyaknya lubang} &= \frac{\text{panjang pipa} \times \text{cabang}}{C} \\ &= \frac{9 \text{ ft} \times 20}{0,04035 \text{ ft}} \\ &= 4461 \text{ lubang} \end{aligned}$$

$$\text{jumlah lubang tiap cabang} = \frac{\text{jumlah lubang}}{\text{cabang}}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{4461}{20} \\ &= 223,1 \text{ lubang tiap cabang} \end{aligned}$$

Packing



Rashing Ring

Packing disusun secara acak (randomize)

Digunakan packing jenis rashing ring dengan spesifikasi stand
(Van Winkle, Table 15-1)

Ukuran packing = 1 in

Tebal packing = 1/8 in

Bahan konstruksi = Ceramic Stoneware

Tinggi packing = 80% dari tinggi shell

= 80% x 36 ft

= 29 ft

Diameter shell = 10 ft

Volume packing = $\frac{1}{4} \pi (D^2) L$

= 2112,59

Jumlah packing tiap cu³ = 1,35 buah (Van Winkle, T.15.1

Jumlah packing total = 1,35 (packing/cu³ x 2112,59

= 2852 buah packing

7 Preheater (E-211)

1. Heat balance

$$\begin{aligned}
 \text{Aliran bahan panas, } Q &= 259206,33 \text{ kkal/jam} \\
 &= 1029049,13 \text{ Btu/jam} \\
 W &= 948,28 \text{ kg/jam} \\
 &= 2090,60 \text{ lb/jam} \\
 \text{Aliran bahan dingin, } W &= 2589,03 \text{ kg/jam} \\
 &= 5707,83 \text{ lb/jam}
 \end{aligned}$$

2. LMTD

$$\begin{aligned}
 T_1 &= 330 \text{ } ^\circ\text{C} = 626 \text{ } ^\circ\text{F} \\
 T_2 &= 330 \text{ } ^\circ\text{C} = 626 \text{ } ^\circ\text{F} \\
 t_1 &= 80 \text{ } ^\circ\text{C} = 176 \text{ } ^\circ\text{F} \\
 t_2 &= 300 \text{ } ^\circ\text{C} = 572 \text{ } ^\circ\text{F}
 \end{aligned}$$

$$\text{LMTD} = \frac{(\text{ } 626 - 572 \text{ }) - (\text{ } 626 - 176 \text{ })}{\ln \frac{(\text{ } 626 - 572 \text{ })}{(\text{ } 626 - 176 \text{ })}}$$

$$\text{LMTD} = 186,77 \text{ } ^\circ\text{F}$$

3. Temperatur rata-rata

karena viskositas yang relatif kecil $T_c = T_{av}$ dan $t_c = t_{av}$

$$T_c = T_{av} = \frac{626 + 626}{2} = 626 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_c = t_{av} = \frac{176 + 572}{2} = 374 \text{ } ^\circ\text{F}$$

4. Memilih ukuran pipa

Dari Tabel 6.1 hal 103 dan Tabel 11 Kern, dipilih pipa dengan kriteria :

Outer pipe , IPS = 2,5

Inner pipe , IPS = 1,25

ID = 1,38 in = 0,12 ft

OD = 1,66 in = 0,14 ft

L = 12 ft

Dari Tabel 6.2 hal 110 Kern didapatkan data *flow area* dan *annulus*

$$a_a = 2,63 \text{ in}^2 = 0,01826 \text{ ft}^2$$

$$a_p = 1,5 \text{ in}^2 = 0,01042 \text{ ft}^2$$

$$D_e = 2,02 \text{ in} = 0,16833 \text{ ft} \quad (\text{annulus})$$

$$D_e' = 0,81 \text{ in} = 0,0675 \text{ ft}$$

$$ID = 1,38 \text{ in} = 0,115 \text{ ft} \quad \text{Tabel 11 hal 844 Kern}$$

Cold fluid (annulus) :
ethylene

Hot fluid (inner pipe) :
steam

5. Mass velocity

$$\begin{aligned} G_a &= \frac{W}{a_a} \\ &= \frac{5707,83}{0,01826} \\ &= 312519,8 \text{ lb/jam.ft}^2 \end{aligned}$$

5. Mass velocity

$$\begin{aligned} G_p &= \frac{w}{2 \times a_p} \\ &= \frac{2090,6}{0,02083} \\ &= 100348,7 \text{ lb/jam.ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{6. Pada } t_c &= 374 \text{ } ^\circ\text{F} \\ &= 190,00 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 463,00 \text{ K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{6. Pada } T_c &= 626 \text{ } ^\circ\text{F} \\ &= 330 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 603 \text{ K} \end{aligned}$$

Dari perhitungan viskositas didapatkan

$$\begin{aligned}\mu &= 0,01532 \text{ cP} \\ &= 0,03708 \text{ lb/ ft.jam}\end{aligned}$$

Dari Fig.15 Kern didapatkan

$$\begin{aligned}\mu &= 0,023 \text{ cP} \\ &= 0,05566 \text{ lb/ ft.jam}\end{aligned}$$

Menghitung viskositas campuran gas pada $t_c = 374^\circ\text{F}$

| Komponen | A | B | C |
|--------------------|----------|--------|--------|
| CH ₃ OH | -14,2360 | 0,3894 | -6E-05 |
| H ₂ O | -36,8260 | 0,4290 | -2E-05 |

Sumber : Yaws (1999)

$$\mu'' = A + BT + C''$$

Dimana μ = viskositas, μP

T = temperatur, K

| Komponen | x_i | μ (μP) | $\mu \cdot x_i$ |
|--------------------|---------------|-------------------------|-----------------|
| CH ₃ OH | 0,99850 | 153,23 | 153,00 |
| H ₂ O | 0,00150 | 158,33 | 0,24 |
| Total | 1,0000 | | 153,23 |

$$\begin{aligned}\text{Re}_a &= \frac{D_e G_a}{\mu} \\ &= \frac{0,168 \times 312519,8}{0,03708} \\ &= 1418656\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Re}_p &= \frac{D G_p}{\mu} \\ &= \frac{0,115 \times 100349}{0,05566} \\ &= 207332\end{aligned}$$

7. Dari Fig. 24 Kern didapatkan j_H

$$j_H = 1000$$

8. Pada $t_c = 374 \text{ } ^\circ\text{F}$
 $= 190,00 \text{ } ^\circ\text{C}$
 $= 463,00 \text{ K}$

Dari perhitungan *specific heat* didapatkan

$$c = 0,43 \text{ Btu/lb.}^\circ\text{F}$$

Dari perhitungan *thermal conductivity*

$$k = 0,0191 \text{ Btu/(jam)(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F/ft)}$$

Menghitung *specific heat* pada $t_c = 374 \text{ } ^\circ\text{F}$

| Komponen | A | B | C | D |
|--------------------|--------|---------|----------|---------|
| CH ₃ OH | 19,000 | 0,09152 | -1,2E-05 | -8E-09 |
| H ₂ O | 32,240 | 0,00192 | 1,1E-06 | 3,6E-09 |

Sumber : Yaws (2014)

$$C_p = A + BT + C T^2$$

Dimana C_p = *heat capacity*, J/gmol.K

T = temperatur, K

| Komponen | BM | x_i | C_p (J/gmol.K) | $c \cdot x_i$ (Btu/lb.F) |
|--------------------|----|----------------|---------------------|-----------------------------|
| CH ₃ OH | 32 | 0,99850 | 57,96 | 0,43224 |
| H ₂ O | 18 | 0,00150 | 33,71 | 0,00067 |
| Total | | 1,00000 | | 0,43292 |

Menghitung *thermal conductivity* gas pada $t_c = 374^\circ\text{F}$

| Komponen | A | B | C |
|--------------------|--------|----------|---------|
| CH ₃ OH | 0,0023 | 5,43E-06 | 1,3E-07 |
| H ₂ O | 0,0005 | 4,71E-05 | 5E-08 |

Sumber : Yaws (1999)

$$\lambda_{gas} = A + BT + C$$

Dimana λ_{gas} = gas *thermal conductivity*, W/m.K

T = temperatur, K

| Komponen | x_i | λ (W/m.K) | $k \cdot x_i$ (Btu/hr.ft ² .°F/ft) |
|--------------------|----------------|-------------------|--|
| CH ₃ OH | 0,99850 | 0,03 | 0,01908 |
| H ₂ O | 0,00150 | 0,03 | 0,00003 |
| Total | 1,00000 | | 0,01911 |

$$\left(\frac{c \cdot \mu}{k}\right)^{1/3} = 0,94$$

$$9. \quad h_o = j_H \frac{k}{D_e} \left(\frac{c \cdot \mu}{k}\right)^{1/3} \quad \phi_a$$

$$\frac{h_o}{\phi_a} = 1000 \times \frac{0,02}{0,17} \times 0,94$$

$$\frac{h_o}{\phi_a} = 107,1 \quad \text{Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

9. *Condensation of steam*

$$h_{io} = 200 \quad \text{Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

$$10. \quad t_w = t_c + \frac{h_{io}}{h_{io} + h_o} (T_c - t_c)$$

$$= 374 + \frac{200}{307} (252)$$

$$= 538 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Pada $T = 538 \text{ } ^\circ\text{F}$

Dari perhitungan
viskositas didapatkan

$$\mu = 0,01832 \text{ cP}$$

$$= 0,04434 \text{ lb/ft.jam}$$

Menghitung viskositas campuran gas pada $t_c = 625 \text{ } ^\circ\text{F}$

| Komponen | A | B | C |
|--------------------|----------|--------|--------|
| CH ₃ OH | -14,2360 | 0,3894 | -6E-05 |
| H ₂ O | -36,8260 | 0,4290 | -2E-05 |

Sumber : Yaws (1999)

$$\mu'' = A + BT + C''$$

Dimana μ = viskositas, μP

T = temperatur, K

$$T = 538 \text{ } ^\circ\text{F} = 281 \text{ } ^\circ\text{C} = 554 \text{ K}$$

| Komponen | x_i | $\mu \text{ (}\mu\text{P)}$ | $\mu \cdot x_i$ |
|--------------------|---------------|-----------------------------|-----------------|
| CH ₃ OH | 0,99850 | 183,19 | 182,91 |
| H ₂ O | 0,00150 | 195,94 | 0,29 |
| Total | 1,0000 | | 183,20 |

$$\phi_a = \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$$

$$= \left(\frac{0,04}{0,04} \right)^{0,14}$$

$$= 0,975$$

Corrected coefficient

$$h_o = \frac{h_o}{\phi_a} \times \phi_a$$

$$= 107 \times 0,98$$

$$= 104 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

11. *Clean overall coefficient*

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o}$$

$$= \frac{200 \times 104}{200 + 104}$$

$$= 68,6 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

12. *Design overall coefficient*

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_c} + R_d$$

Dari Tabel 10-13 Ludwig vol 3 $R_d = 0.001$

$$R_d = 0,001 + 0,001$$

$$= 0,002 \text{ jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F/Btu}$$

sehingga

$$U_D = 60,3371 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

Ringkasan

| | | |
|-------|---------------|-------|
| 104 | $h_{outside}$ | 200 |
| U_c | = | 68,62 |
| U_D | = | 60,34 |

13. Surface

$$A = \frac{Q}{U_D \times \Delta t}$$

$$A = \frac{1029049,13}{60 \times 186,77}$$

$$A = 91,3 \text{ ft}^2$$

Dari Tabel 11 Kern didapatkan

external surface/lin ft, $a'' = 0,435 \text{ ft}$

$$\begin{aligned} \text{Required length} &= \frac{A}{a''} \\ &= \frac{91,32}{0,435} \\ &= 210 \text{ lin ft} \end{aligned}$$

maka jumlah *hairpin* yang dibutuhkan sebanyak

$$= \frac{210}{24} = 9 \text{ hairpin}$$

14. Fouling factor

Actual surface = $216 \times 0,435$

$$= 93,96 \text{ ft}^2$$

Actual design coefficient

$$\begin{aligned} U_D &= \frac{Q}{A \times \Delta t} \\ &= \frac{1029049,13}{93,96 \times 186,77} \\ &= 58,6392 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_d &= \frac{U_c - U_D}{U_c \times U_D} \\
 &= \frac{69 - 58,6}{69 \times 58,6} \\
 &= 0,00248 \text{ jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F/Btu}
 \end{aligned}$$

Dari Tabel 10-13 Ludwig diketahui R_d 0.002 sehingga dapat disimpulkan bahwa R_d yang didapatkan dari perhitungan memenuhi kriteria perancangan

Pressure Drop

$$\begin{aligned}
 1. \text{Re}_a' &= \frac{D_e' G_a}{\mu} \\
 &= \frac{0,068 \times 312519,8}{0,04} \\
 &= 568867
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f &= 0,0035 + \frac{0,264}{\text{Re}_a'^{0,42}} \\
 &= 0,0035 + \frac{0,264}{261,28} \\
 &= 0,00451
 \end{aligned}$$

$$1. \text{Re}_p = 207332$$

$$\begin{aligned}
 f &= 0,0035 + \frac{0,264}{\text{Re}_p^{0,42}} \\
 &= 0,0035 + \frac{0,264}{171,00} \\
 &= 0,00504
 \end{aligned}$$

Karena digunakan *steam* dengan temperatur $330^\circ\text{C} = 626^\circ\text{F}$, maka dari Tabel 7 Kern didapatkan *specific volume* sebesar

$$v = 0,21 \text{ ft}^3/\text{lb}$$

Dari perhitungan *specific gravity* didapatkan

$$s = 1,10$$

$$\begin{aligned}\rho &= 1,1 \times 62,5 \\ &= 69 \text{ lb/ft}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{0,21} \\ &= 4,762 \text{ lb/ft}^3\end{aligned}$$

Menghitung *specific gravity*

| Komponen | x_i | s.g | sg. x_i |
|--------------------|----------------|-------|---------------|
| CH ₃ OH | 0,99850 | 1,103 | 1,1018 |
| H ₂ O | 0,00150 | 0,621 | 0,0009 |
| Total | 1,00000 | | 1,1027 |

$$\begin{aligned}2. \Delta F_a &= \frac{4fG_a^2 L}{2g\rho^2 D_e'} \\ \Delta F_a &= \frac{380614487196,29}{268042615588} \\ &= 1,42 \text{ ft}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}3. V &= \frac{G_a}{3600 \times \rho} \\ &= \frac{312520}{3600 \times 68,9} \\ &= 1,3 \text{ fps}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}2. \Delta F_p &= \frac{4fG_p^2 L}{2g\rho^2 D} \\ \Delta F_p &= \frac{21941623117}{2180045351} \\ &= 10,06 \text{ ft}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P_p &= \frac{\Delta F_p \times \rho}{144} \\ &= \frac{10,06 \times 4,762}{144} \\ &= 0,3328 \text{ psi}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta F_l &= 9 \left(\frac{V^2}{2g'} \right) \\ &= 9 \left(\frac{1,6}{64} \right) \\ &= ##### \text{ ft}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P_a &= \frac{(\Delta F_a + \Delta F_l) \times \rho}{144} \\ &= \frac{101}{144} \\ &= 0,70320 \text{ psi}\end{aligned}$$

Resume Spesifikasi Preheater

| Spesifikasi | Keterangan |
|-------------------|--------------------------------------|
| Kode Alat | = E-211 |
| Fungsi | = Menaikkan suhu umpan reaktor |
| Jenis | = DPHE |
| Jumlah | = 1 |
| Bahan Konstruksi | = <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> |
| Luas Area | = 94 ft ² |
| Temperatur | |
| T ₁ | = 626 °F |
| T ₂ | = 626 °F |
| t ₁ | = 176 °F |
| t ₂ | = 572 °F |
| <i>Outer pipe</i> | = 2,5 |
| <i>Inner pipe</i> | = 1,25 |
| <i>Length</i> | = 12 ft |

| | | |
|------------------------------|---|-----------------------------------|
| <i>Jumlah hairpin</i> | = | 9 |
| <i>Fouling factor</i> | = | 0,002 jam.ft ² .°F/Btu |
| ΔP <i>annulus</i> | = | 0,70320 psi |
| ΔP <i>inner pipe</i> | = | 0,3328 psi |

8. Vaporizer (V-110)

1. Heat Balance

$$\begin{aligned}\text{Aliran bahan dingin, } W &= 2589,03 \text{ kg/jam} \\ &= 5707,8273 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Aliran bahan panas, } Q &= 708991,98 \text{ kkal/jam} \\ &= 2814698,161 \text{ Btu/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}W &= 2593,77 \text{ kg/jam} \\ &= 5718,2772 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

2. LMTD

$$T_1 = 330 \text{ }^{\circ}\text{C} = 626 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$T_2 = 330 \text{ }^{\circ}\text{C} = 626 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$t_1 = 30 \text{ }^{\circ}\text{C} = 86 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$t_2 = 80 \text{ }^{\circ}\text{C} = 176 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\text{LMTD} = \frac{(\text{ } 626 \text{ } - \text{ } 176 \text{ }) - (\text{ } 626 \text{ } - \text{ } 86 \text{ })}{\ln \frac{(\text{ } 626 \text{ } - \text{ } 176 \text{ })}{(\text{ } 626 \text{ } - \text{ } 86 \text{ })}}$$

$$\text{LMTD} = 493,63 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

$$R = \frac{0}{90} = 0$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

$$S = \frac{90}{540} = 0,1667$$

Dari Fig. 18 Kern, karena nilai $R = 0$ didapatkan $F_T = 1$

maka $\Delta T = \text{LMTD}$

$$\Delta T = 493,63 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

3. Menentukan koefisien perpindahan panas keseluruhan

$$U_D = 400 \text{ Btu} / (\text{jam})(\text{ft}^2)(^\circ\text{F}) \quad \text{Kern Tabel 8}$$

4. Memilih ukuran *tube*

Dari Tabel 10 hal 843 Kern, dipilih pipa dengan kriteria :

$$\text{OD} = 1 \text{ in}$$

$$\text{BWG} = 14 \quad \text{McKetta volume 50 page 85}$$

$$L = 12 \text{ ft}$$

$$\text{ID} = 0,83 \text{ in}$$

$$a'' = 0,26 \text{ ft}^2/\text{ft}$$

$$a_t' = 0,55 \text{ in}^2$$

5. Menghitung luas perpindahan panas (A)

$$A = \frac{Q}{U_D \cdot \Delta T} = \frac{2814698,161}{400 \times 493,63} = 14,3 \text{ ft}^2$$

6 Menghitung jumlah pipa dan diameter *shell*

$$N_t = \frac{A}{L \cdot a''} = \frac{14,3}{12 \times 0,26} = 4,54$$

Dari tabel 9 hal 841-842 Kern dipilih *heat exchanger* dengan ketentuan :

Shell

$$\text{ID} : 33,00 \text{ in}$$

$$\text{B} : 6 \text{ in}$$

$$\text{Pass} : 1$$

Tube

$$\text{No. of Tube} : 522$$

$$\text{OD, BWG} : 1,00 \text{ in } 14 \text{ BWG}$$

$$\text{Pitch} : 1,25 \text{ in triangular}$$

$$\text{Pass} : 2$$

7. Mengkoreksi harga U_D

Menghitung harga A terkoreksi

$$A \text{ terkoreksi} = N \times L \times a'' \\ = 1640 \text{ ft}^2$$

Menghitung harga U_D koreksi

$$U_D \text{ koreksi} = \frac{Q}{A_{\text{terkoreksi}} \times \Delta t_{\text{mean}}} \\ = 3,48 \text{ Btu} / (\text{jam})(\text{ft}^2)(^\circ\text{F})$$

8. Perhitungan T_{av} dan t_{av}

karena viskositas yang relatif kecil maka $T_c = T_{av}$ dan $t_c = t_{av}$

$$T_c = T_{av} = \frac{626 + 626}{2} = 626 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_c = t_{av} = \frac{86 + 176}{2} = 131 \text{ } ^\circ\text{F}$$

9. Perhitungan viskositas aliran dingin

| Komp | A | B | C |
|--------------------|---------|---------|-----------|
| CH ₃ OH | -14,236 | 0,38935 | -6,28E-05 |
| H ₂ O | -36,826 | 0,429 | -1,62E-05 |

Sumber : Yaws (1999)

$$\mu = (A + BT + C T^2)$$

Dimana μ = viskositas, μP

T = temperatur, K

$$T_{av} = 55 \text{ } ^\circ\text{C} = 328 \text{ K}$$

| Komp | x_i | μ (μP) | $\mu \cdot x_i$ |
|--------------------|--------|-------------------------|-----------------|
| CH ₃ OH | 0,9985 | 106,72 | 106,56 |

| | | | |
|------------------|---------------|--------|---------------|
| H ₂ O | 0,0015 | 102,14 | 0,15 |
| Total | 1,0000 | | 106,71 |

$$\mu = 0,010671 \text{ cP}$$

10. Perhitungan Konduktivitas termal aliran dingin

| Komp | A | B | C |
|--------------------|---------|---------|--------|
| CH ₃ OH | 0,00234 | 5,4E-06 | 1,E-07 |
| H ₂ O | 0,00053 | 4,7E-05 | 5,E-08 |

Sumber : Yaws (1999)

$$\lambda_{gas} = A + BT + C$$

Dimana λ = gas thermal conductivity
W/m.K

T = temperatur, K

$$T_{av} = 55 \text{ } ^\circ\text{C} = 328 \text{ K}$$

| Komp | x _i | λ (W/m.K) | $\lambda \cdot x_i$ |
|--------------------|----------------|-------------------|---------------------|
| CH ₃ OH | 0,99851 | 0,01827 | 1,82E-02 |
| H ₂ O | 0,00150 | 0,02131 | 3,19E-05 |
| Total | 1,000 | | 0,0183 |

$$\lambda = 0,01 \text{ Btu/(jam)(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F/ft)}$$

11. Perhitungan specific heat aliran panas

| Komp | A | B | C | D |
|--------------------|-------|---------|---------|---------|
| CH ₃ OH | 19 | 0,09152 | -1E-05 | -8,E-09 |
| H ₂ O | 32,24 | 0,00192 | 1,1E-05 | -4,E-09 |

Sumber : Yaws (2014)

$$C_p = (A + BT + C T^2)$$

Dimana C_p = *specific heat* , J/gmol.K

T = temperatur, K

$$T_{av} = 55 \text{ } ^\circ\text{C} = 328 \text{ K}$$

| Komp | BM | x_i | C_p (J/gmol .K) | $c.x_i$ (Btu/lb. F) |
|--------------------|----|--------------|-------------------------|---------------------------|
| CH ₃ OH | 32 | 0,9985 | 47,42 | ##### |
| H ₂ O | 18 | 0,0015 | 33,88 | ##### |
| Total | | 1,000 | | 0,3543 |

$$c = 0,3543 \text{ Btu/lb.}^\circ\text{F}$$

Cold fluid (tube) : Methanol

12. Flow area

$$\begin{aligned}
 a_t &= \frac{N \times a_t'}{144 n} \\
 &= \frac{522 \times 0,55}{144 \times 2} \\
 &= 0,9896 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

Hot fluid (shell) : steam

12. Flow area

Menghitung C'

$$\begin{aligned}
 C &= P_T - OD \\
 &= 1,25 - 1 \\
 &= 0,25
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_s &= \frac{ID \times C' \times B}{144 P_T} \\
 &= \frac{33 \times 0,25 \times 5,89}{144 \times 1} \\
 &= 0,2701 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

13. Mass velocity

$$\begin{aligned}
 G_s &= \frac{W}{a_s} \\
 &= \frac{5707,827}{0,270089} \\
 &= 21133 \text{ lb/jam.ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{14. Pada } t_a &= 131 \text{ } ^\circ\text{F} \\
 &= 55 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 &= 328 \text{ K}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan viskositas didapatkan

$$\begin{aligned}
 \mu &= 0,0107 \text{ cP} \\
 &= 0,02582 \text{ lb/ ft.jam}
 \end{aligned}$$

Dari Fig.28 Kern didapatkan

$$\begin{aligned}
 D_e &= \frac{0,72}{12} \\
 &= 0,06 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Re_s &= \frac{D_e G_s}{\mu} \\
 &= \frac{0,06 \times 21133,11}{0,02582} \\
 &= 49100,064
 \end{aligned}$$

15. Dari Fig.28 Kern didapatkan

13. Mass velocity

$$\begin{aligned}
 G_t &= \frac{w}{a_t} \\
 &= \frac{5718,28}{0,98963} \\
 &= 5778,2 \text{ lb/jam.ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{14. Pada } T_a &= 626 \text{ } ^\circ\text{F} \\
 &= 330 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 &= 603 \text{ K}
 \end{aligned}$$

Dari Fig.15 Kern didapatkan

$$\begin{aligned}
 \mu &= ##### \text{ cP} \\
 &= ##### \text{ lb/ ft.jam}
 \end{aligned}$$

Dari Tabel 10 Kern didapatkan

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{0,83}{12} \\
 &= 0,0695 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Re_t &= \frac{D G_t}{\mu} \\
 &= \frac{0,07 \times 5778,2263}{0,05566} \\
 &= 7215
 \end{aligned}$$

$$j_H = 40$$

$$\begin{aligned} 16. \text{ Pada } T &= 131 \text{ } ^\circ\text{F} \\ &= 55,00 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 328,0 \text{ K} \end{aligned}$$

Dari perhitungan *specific heat* didapatkan

$$c = 0,35 \text{ Btu/lb.}^\circ\text{F}$$

Dari perhitungan *thermal conductivity*

$$\begin{aligned} k &= 0,0106 \\ &\text{Btu/(jam)(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F/ft)} \end{aligned}$$

$$\left(\frac{c \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} = 0,95$$

$$17. \quad h_o = j_H \frac{k}{D_e} \left(\frac{c \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} \phi_s$$

$$\frac{h_o}{\phi_s} = 40 \times \frac{0,01}{0,06} \times 0,95$$

$$\frac{h_o}{\phi_s} = 6,71 \text{ Btu/jam.ft}^2\text{.}^\circ\text{F}$$

17. *Condensation of steam*

$$h_{io} = 200 \text{ Btu/jam.ft}^2\text{.}^\circ\text{F}$$

18. *Tube-wall temperature*

$$\begin{aligned} t_w &= t_c + \frac{h_o}{h_{io} + h_o} (T_c - t_c) \\ &= 131 + \frac{6,7139}{206,71} (495) \\ &= 147,08 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Pada $t_w = 147,08 \text{ } ^\circ\text{F}$

Dari perhitungan viskositas didapatkan

$$\mu_w = 0,01 \text{ cP} = 0,03 \text{ lb/ft.jam}$$

Menghitung viskositas campuran gas pada t_w

$$T = 147 \text{ } ^\circ\text{F} = 64 \text{ } ^\circ\text{C} = 337 \text{ K}$$

| Komp | x_i | $\mu \text{ (cP)}$ | $\mu \cdot x_i$ |
|--------------------|---------------|--------------------|-----------------|
| CH ₃ OH | 0,9985 | 109,82 | 109,66 |
| H ₂ O | 0,0015 | 105,88 | 0,16 |
| Total | 1,0000 | | 109,82 |

$$\mu = 0,01 \text{ cP}$$

$$\begin{aligned} \phi_s &= \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \\ &= \left(\frac{0,03}{0,0266} \right)^{0,14} \\ &= 1 \end{aligned}$$

Corrected coefficient

$$\begin{aligned} h_o &= \frac{h_o}{\phi_s} \times \phi_a \\ &= 6,71 \times 1 \\ &= 6,69 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

19. Clean overall coefficient

$$\begin{aligned} U_c &= \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} \\ &= \frac{200 \times 6,69}{200 + 6,69} \end{aligned}$$

$$= 6,47 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F}$$

20. *Design overall coefficient*

Diketahui *external surface* /ft, $a'' = 0,26 \text{ ft}^2/\text{ft}$

$$\begin{aligned} A &= N \times L \times a'' \\ &= 522 \times 12 \times 0,26 \\ &= 1640 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_D &= \frac{Q}{A \times \Delta t} \\ &= \frac{2814698,161}{1640 \times 493,63} \\ &= 3,48 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F} \end{aligned}$$

21. *Dirt factor*

$$\begin{aligned} R_d &= \frac{U_c - U_D}{U_c \times U_D} \\ &= \frac{6 - 3,48}{6 \times 3,48} \\ &= 0,1331 \text{ jam.ft}^2.\text{°F/Btu} \end{aligned}$$

Ringkasan

| | | |
|----------------------|---------------|-------|
| 6,69 | $h_{outside}$ | 200 |
| U_c | = | 6,47 |
| U_D | = | 3,48 |
| $R_{d \text{ calc}}$ | = | 0,133 |
| $R_{d \text{ req}}$ | = | 0,001 |

Pressure Drop

$$1. \text{Re}_s = 49100,06443$$

Dari Fig.29 Kern, didapatkan

$$f = 0,0008 \text{ ft}^2/\text{in}^2$$

Specific volume of steam

(Tabel 7, Kern)

$$v = 3,1 \text{ ft}^3/\text{lb}$$

$$s = 0,32$$

$$\frac{62,5}{\text{densitas air}}$$

$$= 0,005161$$

$$2. \Delta P_t = \frac{f G_t^2 L n}{5.22 \times 10^{10} D_s \phi_t}$$

$$\Delta P_t = \frac{8038952}{16165161}$$

$$= 0,4973 \text{ psi}$$

$$1. \text{Re}_t = 7215$$

Dari Fig.26 Kern, didapatkan

$$f = 0,00018 \text{ ft}^2/\text{in}^2$$

Menghitung *specific gravity*

| Komp | x _i | s.g | sg.x _i |
|--------------------|----------------|------|-------------------|
| CH ₃ OH | 0,999 | 1,1 | 1,102 |
| H ₂ O | 0,001 | 0,62 | 0,001 |
| Total | 1,000 | | 1,10 |

2. *No. of crosses*

$$N + = 12 \times \frac{L}{B}$$

$$N + = 12 \times \frac{12}{6}$$

$$N + = 24$$

$$D_s = \frac{ID}{12} = 3 \text{ ft}$$

$$3. \Delta P_s = \frac{f G_s^2 D_s (N+1)}{5.22 \times 10^{10} D_e s \phi_s}$$

$$\Delta P_s = \frac{403860}{3984585609}$$

$$= 0,0001 \text{ psi}$$

Resume Spesifikasi *Vaporizer*

| Spesifikasi | Keterangan |
|-------------------------|---|
| Fungsi | : Merubah fase metaol liquida menjadi uap |
| Jenis | : <i>Shell and tube</i> (1-2 HE) |
| Jumlah | : 1 |
| Bahan Konstruksi | : <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> |
| Luas area | : 1639,9 ft ² |
| Temperatur | |
| T ₁ | : 330 °C |
| T ₂ | : 330 °C |
| t ₁ | : 30 °C |
| t ₂ | : 80 °C |
| <i>Tube</i> | |
| OD, BWG | : 1 in 14 BWG |
| ID | : 0,83 in |
| <i>Length</i> | : 12 ft |
| Jumlah <i>tube</i> | : 522 |
| <i>Pitch</i> | : 1,25 in <i>triangular</i> |
| ΔP <i>tube</i> | : 0,4973 psi |
| <i>Shell</i> | |
| ΔP <i>shell</i> | : 0 psi |
| ID <i>shell</i> | : 33 in |
| <i>Fouling factor</i> | : 0,133 jam.ft ² .°F/Btu |

9. WHB (E-213)

1. Heat Balance

$$\begin{aligned}\text{Aliran bahan panas, } W &= 9837,33 \text{ kg/jam} \\ &= 21687,57446 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Aliran bahan dingin, } Q &= 698463,63 \text{ kkal/jam} \\ &= 2772900,611 \text{ Btu/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}W &= 1704,16 \text{ kg/jam} \\ &= 3757,025219 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

2. LMTD

$$T_1 = 340 \text{ } ^\circ\text{C} = 644 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 110 \text{ } ^\circ\text{C} = 230 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_1 = 30 \text{ } ^\circ\text{C} = 86 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_2 = 330 \text{ } ^\circ\text{C} = 626 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\text{LMTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}}$$

$$\text{LMTD} = \frac{(644 - 626) - (230 - 86)}{\ln \frac{(644 - 626)}{(230 - 86)}}$$

$$\text{LMTD} = 60,59 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

$$R = \frac{414}{540} = 0,8$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

$$S = \frac{540}{558} = 0,968$$

Dari Fig. 18 Kern, karena nilai $R = 0$ maka $F_T = 0,98$

$$\begin{aligned} F_T &= 0,98 \\ \text{maka } \Delta t &= F_T \times \text{LMTD} \\ &= 0,98 \times 60,59 \\ &= 59,38 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Penentuan *number of shell passes* berdasarkan temperatur

$$\begin{aligned} &= \frac{(T_1 - T_2) + (t_2 - t_1)}{(T_1 - t_1)} \\ &= \frac{954}{558} \\ &= 1,71 \end{aligned}$$

Berdasarkan *Rules of Thumb in Engineering Practice* by Donald R. Woods (Halaman 70) untuk *ratio* 0,8 - 1,1 *number of shell passes* adalah 1

Sehingga digunakan HE tipe 1

3. Menentukan koefisien perpindahan panas keseluruhan

$$U_D = 120 \text{ Btu / (jam)(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F)}$$

Dari data viskositas, maka di dapatkan nilai U_D pada Kern table 8 halaman 840

4. Memilih ukuran *tube*

Dari Tabel 10 hal 843 Kern, dipilih pipa dengan kriteria :

$$\begin{aligned} \text{OD} &= 1 \text{ in} && \text{Ludwig volume 3 page 35} \\ \text{BWG} &= 14 && \text{McKetta volume 50 page 85} \\ L &= 12 \text{ ft} \\ \text{ID} &= 0,834 \text{ in} \end{aligned}$$

$$a'' = 0,262 \text{ ft}^2/\text{ft}$$

$$a_t' = 0,546 \text{ in}^2$$

5. Menghitung luas perpindahan panas (A)

$$A = \frac{Q}{U_D \Delta T} = \frac{2772900,611}{120 \times 60,59} = 381,35 \text{ ft}^2$$

6. Menghitung jumlah pipa dan diameter shell

$$N_t = \frac{A}{L \cdot a''} = \frac{381,355}{12 \times 0,262} = 121,4$$

Dari tabel 9 hal 841-842 Kern dipilih *heat exchanger* dengan ketentuan :

| Shell | Tube |
|-----------------|-----------------------------------|
| ID : 23,25 in | <i>No. of Tube</i> : 232 |
| B : 6 in | OD, BWG : 1 in 14 BWG |
| <i>Pass</i> : 1 | <i>Pitch</i> : 1,25 in triangular |
| | <i>Pass</i> : 2 |

Asumsi maksimum *baffle space*

7. Mengkoreksi harga U_D

Menghitung harga A terkoreksi

$$\begin{aligned} A \text{ terkoreksi} &= N_t \times L \times a'' \\ &= 728,9 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Menghitung harga U_D koreksi

$$\begin{aligned} U_{D \text{ koreksi}} &= \frac{Q}{A_{\text{terkoreksi}} \times \Delta t_{\text{mean}}} \\ &= 64,069 \text{ Btu} / (\text{jam})(\text{ft}^2)(^\circ\text{F}) \end{aligned}$$

8. Perhitungan T_{av} dan t_{av}

karena viskositas yang relatif kecil, $T_c = T_{av}$ dan $t_c = t_{av}$

$$T_c = T_{av} = \frac{644 + 230}{2} = 437,0 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_c = t_{av} = \frac{86 + 626}{2} = 356 \text{ } ^\circ\text{F}$$

9. Perhitungan viskositas aliran panas

| Komponen | A | B | C |
|--------------------------------|---------|--------|----------|
| CH ₃ OH | -14,236 | 0,389 | -6,3E-05 |
| H ₂ O | -36,826 | 0,4290 | -1,6E-05 |
| CH ₂ O | -6,439 | 0,4480 | -0,0001 |
| CH ₂ O ₂ | -13,139 | 0,2749 | 0,000192 |
| O ₂ | 44,224 | 0,562 | -0,00011 |
| N ₂ | 42,606 | 0,475 | -9,9E-05 |
| CO | 35,086 | 0,507 | -0,00013 |
| CO ₂ | 11,336 | 0,4992 | -0,00011 |

Sumber : Yaws (1999)

$$\mu'' = A + BT + C''$$

Dimana μ = viskositas, μP

T = temperatur, K

A, B, C, D = parameter (Carl L Yaws)

$$T_c = 437,0 \text{ } ^\circ\text{F} = 693 \text{ K}$$

| Komponen | x_i | μ (μP) | $\mu \cdot x_i$ |
|--------------------|----------|-------------------------|-----------------|
| CH ₃ OH | 0,004205 | 225,4204 | 0,947893 |
| H ₂ O | 0,145852 | 252,6617 | 36,85121 |
| CH ₂ O | 0,241941 | 255,3675 | 61,78387 |

| | | | |
|--------------------------------|----------|----------|---------------|
| CH ₂ O ₂ | 0,000731 | 269,455 | 0,196972 |
| O ₂ | 0,025182 | 379,3927 | 9,553866 |
| N ₂ | 0,582085 | 324,3081 | 188,7749 |
| CO | 0,000004 | 322,1339 | 0,001289 |
| CO ₂ | 3E-07 | 305,0108 | 9,15E-05 |
| Total | 1 | | 298,11 |

$$\mu = 0,03 \text{ cP}$$

10. Perhitungan konduktivitas termal aliran panas

| Komponen | A | B | C |
|--------------------------------|----------|----------|----------|
| CH ₃ OH | 0,00234 | 5,4E-06 | 1,3E-07 |
| H ₂ O | 0,00053 | 4,71E-05 | 4,96E-08 |
| CH ₂ O | 0,00171 | 1,94E-05 | 9,53E-08 |
| CH ₂ O ₂ | 0 | 0 | 0 |
| O ₂ | 0,00121 | 8,62E-05 | -1,3E-08 |
| N ₂ | 0,00309 | 7,59E-05 | -1,1E-08 |
| CO | 0,0015 | 8,27E-05 | -1,9E-08 |
| CO ₂ | -0,012 | 0,000102 | -2,2E-08 |

Sumber : Yaws (1999)

$$\lambda = \left(\frac{A + BT + C}{T} \right)$$

Dimana: λ = gas thermal conductivity
W/m.K

T = temperaturK

$$T_c = 437,0 \text{ } ^\circ\text{F} = 692,9 \text{ K}$$

| Komponen | x_i | λ | λ.x_i |
|--------------------|----------------------|----------|------------------------|
| CH ₃ OH | 0,004205 | 0,069264 | 0,000291 |
| H ₂ O | 0,145852 | 0,056954 | 0,008307 |
| CH ₂ O | 0,241941 | 0,060926 | 0,014741 |

| | | | |
|--------------------------------|----------|----------|----------------|
| CH ₂ O ₂ | 0,000731 | 0 | 0 |
| O ₂ | 0,025182 | 0,054503 | 0,001372 |
| N ₂ | 0,582085 | 0,050416 | 0,029346 |
| CO | 0,000004 | 0,049609 | 1,98E-07 |
| CO ₂ | 3E-07 | 0,047819 | 1,43E-08 |
| Total | 1 | | 0,05406 |

$$\lambda = 0,031$$

10. Perhitungan specific heat aliran panas

| Komponen | A | B | C | D |
|--------------------------------|-------|----------|----------|-----------|
| CH ₃ OH | 19 | 0,09152 | -1,2E-05 | -8,04E-09 |
| H ₂ O | 32,24 | 0,00192 | 1,06E-05 | -3,6E-09 |
| CH ₂ O | 61,9 | 0,02830 | | |
| CH ₂ O ₂ | 78,06 | 0,07154 | | |
| O ₂ | 25,48 | 0,0152 | -7,2E-06 | 1,31E-09 |
| N ₂ | 28,9 | -0,00157 | 8,08E-06 | -2,87E-09 |
| CO | 28,16 | 0,001675 | 5,37E-06 | -2,22E-09 |
| CO ₂ | 22,26 | 0,05981 | -3,5E-05 | 7,47E-09 |

Sumber : Yaws (2014)

$$C_p = (A + BT + \frac{1}{2}CT^2)$$

Dimana: C_p = specific heat, J/gmol.K

T = temperatur, K

$$T_c = 437,0 \text{ } ^\circ\text{F} = 693 \text{ K}$$

| Komponen | BM | x_i | C_p (J/gmol.K) | $c_{p,i}$ (Btu/lb.F) |
|--------------------|----|----------|---------------------|-------------------------|
| CH ₃ OH | 32 | 0,004205 | 73,8843 | 0,00232 |
| H ₂ O | 18 | 0,145852 | 37,43991 | 0,072506 |

| | | | | |
|--------------------------------|----------|----------|----------------|----------|
| CH ₂ O | 30 | 0,241941 | 81,50986 | 0,157107 |
| CH ₂ O ₂ | 46 | 0,000731 | 127,6321 | 0,000485 |
| O ₂ | 32 | 0,025182 | 33,01355 | 0,006209 |
| N ₂ | 28 | 0,582085 | 30,73562 | 0,15271 |
| CO | 28 | 0,000004 | 31,16074 | 1,06E-06 |
| CO ₂ | 44 | 3E-07 | 49,379 | 8,05E-08 |
| Total | 1 | | 0,39134 | |

$$c = 0,39134 \text{ Btu/lb.}^{\circ}\text{F}$$

Hot fluid (shell) : vapor

10. Flow area

Menghitung C'

$$C' = P_T - OD$$

$$= 1,25 - 1$$

$$= 0,25$$

$$a_s = \frac{ID \times C' \times B}{144 P_T}$$

$$= \frac{23 \times 0,25 \times 5,81}{144 \times 1,25}$$

$$= 0,1877 \text{ ft}^2$$

11. Mass velocity (Gs)

$$G_s = \frac{W}{a_s}$$

$$= \frac{21687,6}{0,1877}$$

$$= 115547 \text{ lb/jam.ft}^2$$

Cold fluid (tube) : water

10. Flow area

$$a_t = \frac{N_t \times a_t'}{144 n}$$

$$= \frac{232 \times 0,546}{144 \times 2}$$

$$= 0,4398 \text{ ft}^2$$

11. Mass velocity (Gt)

$$G_t = \frac{w}{a_t}$$

$$= \frac{3757,02522}{0,4398}$$

$$= 8541,929 \text{ lb/jam.ft}^2$$

$$\begin{aligned}
 12. \text{ Pada } t_a &= 437,0 \text{ } ^\circ\text{F} \\
 &= 225 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 &= 498 \text{ } ^\circ\text{K}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan viskositas didapatkan

$$\begin{aligned}
 \mu &= 0,03 \text{ cP} \\
 &= 0,07 \text{ lb/ ft.jam}
 \end{aligned}$$

Dari Fig.28 Kern didapatkan

$$\begin{aligned}
 D_e &= \frac{0,72}{12} \\
 &= 0,06 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Dari Tabel 4

$$\begin{aligned}
 Re_t &= \frac{DG_t}{\mu} \\
 &= \frac{0,06 \times 115547}{0,07} \\
 &= 96099
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{G_t}{3600 \times \rho_{\text{air}}} \\
 &= \frac{8541,929259}{3600 \times 62,5} \\
 &= 0,038 \text{ fps}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 12. \text{ Pada } t_a &= 356 \text{ } ^\circ\text{F} \\
 &= 180 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 &= 453 \text{ } ^\circ\text{K}
 \end{aligned}$$

Dari Fig.14 Kern didapatkan

$$\begin{aligned}
 \mu &= 0,12 \text{ cP} \\
 &= 0,29 \text{ lb/ ft.jam}
 \end{aligned}$$

Dari Tabel 10 hal 843
Kern didapatkan

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{0,834}{12} \\
 &= 0,07 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Re_t &= \frac{DG_t}{\mu} \\
 &= \frac{0,1 \times 8541,93}{0,29} \\
 &= 2044,3
 \end{aligned}$$

Dari Fig. 28 Kern

didapatkan j_H

$$j_H = 240$$

13. Pada $t_a = 437,0 \text{ } ^\circ\text{F}$

$$= 225 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 498 \text{ } ^\circ\text{K}$$

specific heat

didapatkan

$$c = 0,39 \text{ Btu/lb.}^\circ\text{F}$$

Dari perhitungan *thermal*

conductivity

$$k = 0,0312$$

$$\text{Btu/}(\text{jam})(\text{ft}^2)(^\circ\text{F/ft})$$

$$\left(\frac{c \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} = 1$$

14. $h_o = j_H \frac{k}{D_e} \left(\frac{c \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} \phi_s$

$$\frac{h_o}{\phi_s} = 240 \times \frac{0,03}{0,06} \times 1$$

$$\frac{h_o}{\phi_s} = 120,8 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

14. Dari Fig.25 Kern

$$\text{Correction facto} = 0,92$$

$$h_i = 200 \times 0,92$$

$$= 184 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

$$h_{io} = h \times \frac{ID}{OD}$$

$$= 184 \times \frac{0,83}{1}$$

$$= 153 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

15. Tube-wall temperature

$$\begin{aligned}
 t_w &= t_c + \frac{h_o}{h_{io} + h_o} (T_c - t_c) \\
 &= 356 + \frac{120,8}{274,3} (81) \\
 &= 391,7 \text{ } ^\circ\text{F}
 \end{aligned}$$

Pada $t_w = 391,7 \text{ } ^\circ\text{F}$

Dari perhitungan viskositas didapatkan

$$\begin{aligned}
 \mu_w &= 0,022 \text{ cP} \\
 &= 0,053 \text{ lb/ft.jam}
 \end{aligned}$$

Menghitung viskositas campuran gas pada $t_w = 392 \text{ } ^\circ\text{F}$

$$T = 392 \text{ } ^\circ\text{F} = 200 \text{ } ^\circ\text{C} = 473 \text{ K}$$

| Komponen | x_i | $\mu \text{ (}\mu\text{P)}$ | $\mu \cdot x_i$ |
|--------------------------------|----------|-----------------------------|-----------------|
| CH ₃ OH | 0,004205 | 155,8266 | 0,655251 |
| H ₂ O | 0,145852 | 162,3935 | 23,68542 |
| CH ₂ O | 0,241941 | 182,7485 | 44,21436 |
| CH ₂ O ₂ | 0,000731 | 159,7205 | 0,116756 |
| O ₂ | 0,025182 | 284,6882 | 7,169019 |
| N ₂ | 0,582085 | 245,1092 | 142,6744 |
| CO | 0,000004 | 244,8107 | 0,000979 |
| CO ₂ | 3E-07 | 223,0454 | 6,69E-05 |
| Total | 1 | | 218,516 |

$$\mu = 0,022 \text{ cP}$$

$$\phi_s = \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$$

$$= \left(\frac{0,07}{0,053} \right)^{0,14}$$

$$= 1,044$$

Corrected coefficient

$$h_o = \frac{h_o}{\phi_s} \times \phi_a$$

$$= 120,8 \times 1,044$$

$$= 126,2 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F}$$

16. Clean overall coefficient

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o}$$

$$= \frac{153 \times 126}{153 + 126}$$

$$= 69 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F}$$

17. Design overall coefficient (U_D)

Diketahui *external surface* /ft, a" = 0,262 ft²/ft

$$A = N_t \times L \times a''$$

$$= 232 \times 12 \times 0,3$$

$$= 729 \text{ ft}^2$$

$$U_D = \frac{Q}{A \times \Delta t}$$

$$= \frac{2772900,611}{729 \times 59,38}$$

$$= 64 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F}$$

13. *Dirt factor (Rd)*

$$R_d = \frac{U_c - U_D}{U_c \times U_D}$$
$$= \frac{69 - 64}{69 \times 64}$$
$$= 0,001$$

jam.ft².°F/Btu

Ringkasan

| | | |
|---------------------|-----------|-------|
| 126 | h outside | 153 |
| U _c | = | 69,25 |
| U _D | = | 64,07 |
| R _{d calc} | = | 0,001 |
| R _{d req} | = | 0,001 |

Pressure Drop

| | |
|--|------------------------------|
| 1. Re _s = 96099 | 1. Re _t = 2044,3 |
| Dari Fig.29 Kern, didapatkan | Dari Fig.26 Kern, didapatkan |
| f = 0,00150 ft ² /in ² | f = 0,024 |
| | s = 1 |

| Komponen | x _i | s.g | sg.x _i |
|--------------------------------|----------------|------|-------------------|
| CH ₃ OH | 0,00421 | 1,1 | 0,0046 |
| H ₂ O | 0,14585 | 0,62 | 0,0906 |
| CH ₂ O | 0,24194 | 1,04 | 0,2506 |
| CH ₂ O ₂ | 0,00073 | 1,59 | 0,0012 |

| | | | |
|-----------------|----------|------|---------------|
| O ₂ | 0,02518 | 1,1 | 0,0278 |
| N ₂ | 0,58209 | 0,97 | 0,5627 |
| CO | 4E-06 | 0,97 | 4E-06 |
| CO ₂ | 3E-07 | 1,52 | 5E-07 |
| Total | 1 | | 0,9376 |

2. *No. of crosses*

$$N + 1 = 12 \times \frac{L}{B}$$

$$N + 1 = 12 \times \frac{12}{6}$$

$$N + 1 = 25$$

$$D_s = \frac{ID}{12} = 2 \text{ ft}$$

$$3. \Delta P_s = \frac{f G_s^2 D_s (N+1)}{5.22 \times 10^{10} D_e s \phi_s}$$

$$\Delta P_s = \frac{961274916}{3067010907}$$

$$= 0,313 \text{ psi}$$

$$2. \Delta P_t = \frac{f G_t^2 L n}{5.22 \times 10^{10} D s \phi_t}$$

$$\Delta P_t = \frac{8130377}{3627900000}$$

$$= 0,002241 \text{ psi}$$

$$3. G_t = 8541,929$$

Dari Fig.27 Kern, didapatkan

$$\frac{V^2}{2g'} = 0,001$$

$$\Delta P_r = \frac{4 \times n}{s} \times \frac{V^2}{2g'}$$

$$= \frac{4 \times 2}{1} \times 0,001$$

$$= 0,008 \text{ psi}$$

$$4. \Delta P_T = P_t + P_r$$

$$= 0,002241 + 0,001$$

$$= 0,003 \text{ psi}$$

Resume Spesifikasi *Waste Heat Boiler (WHB)*

| Spesifikasi | Keterangan |
|-------------------------|--|
| Kode Alat | : E-213 |
| Fungsi | : Menurunkan suhu setelah keluar reaktor |
| Jenis | : <i>Shell and tube</i> (1 HE) |
| Jumlah | : 1 |
| Bahan Konstruksi | : <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> |
| Luas Area | : 728,9 ft ² |
| Temperatur | |
| T ₁ | : 340 °C |
| T ₂ | : 110 °C |
| t ₁ | : 30 °C |
| t ₂ | : 330 °C |
| <i>Tube</i> | |
| OD, BWG | : 1 in 14 BWG |
| ID | : 0,8 in |
| <i>Length</i> | : 12 ft |
| Jumlah <i>tube</i> | : 232 |
| <i>Pitch</i> | : 1,25 in <i>triangular</i> |
| ΔP <i>tube</i> | : 0,003 psi |
| <i>Shell</i> | |
| ID <i>shell</i> | : 23,25 in |
| ΔP <i>shell</i> | : 0,313 psi |
| <i>Fouling factor</i> | : 0,001 jam.ft ² .°F/Btu |

10. Cooler (E-312)

1. Heat Balance

$$\begin{aligned}
 \text{Aliran bahan panas } W &= 8838,43 \text{ kg/jam} \\
 &= 19485,37955 \text{ lb/jam} \\
 \text{Aliran bahan dingin } Q &= 117172,11 \text{ kkal/jam} \\
 &= 465173,2767 \text{ Btu/jam} \\
 W &= 1489,87 \text{ kg/jam} \\
 &= 3284,597199 \text{ lb/jam}
 \end{aligned}$$

2. LMTD

$$\begin{aligned}
 T_1 &= 55 \text{ } ^\circ\text{C} = 131 \text{ } ^\circ\text{F} \\
 T_2 &= 45 \text{ } ^\circ\text{C} = 113 \text{ } ^\circ\text{F} \\
 t_1 &= 30 \text{ } ^\circ\text{C} = 86 \text{ } ^\circ\text{F} \\
 t_2 &= 45 \text{ } ^\circ\text{C} = 113 \text{ } ^\circ\text{F}
 \end{aligned}$$

$$\text{LMTD} = \frac{(131 - 113) - (113 - 86)}{\ln \frac{(131 - 113)}{(113 - 86)}}$$

$$\text{LMTD} = 22,20$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

$$R = \frac{18}{27} = 0,67$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

$$S = \frac{27}{45} = 0,6$$

Dari Fig. 18 Kern didapatkan $F_T = 0,81$, maka $\Delta T = \text{LMTD}$
 $\Delta T = 17,98 \text{ } ^\circ\text{F}$

Penentuan *number of shell passes* berdasarkan temperatur ratio

$$\text{ratio} = \frac{(T_1 - T_2) + (t_2 - t_1)}{(T_1 - t_1)}$$

$$= \frac{45}{45}$$

$$= 1,00$$

Berdasarkan *Rules of Thumb in Engineering Practice* by Donald R. Woods, untuk *ratio* 0,8 - 1,1 *number of shell passes* adalah 1 atau 2 sehingga dipilih 1.

Sehingga digunakan HE tipe 1-2

3. Menentukan koefisien perpindahan panas keseluruhan

$$U_D = 120 \text{ Btu / (jam)(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F)}$$

(Ludwig volume 3 page 94)

4. Memilih ukuran *tube*

Dari Tabel 10 hal 843 Kern, dipilih pipa dengan kriteria :

$$\text{OD} = 1 \text{ in} \quad \text{Ludwig volume 3 page 35}$$

$$\text{BWG} = 14 \quad \text{McKetta volume 50 page 85}$$

$$L = 12 \text{ in}$$

$$\text{ID} = 0,83 \text{ in}$$

$$a'' = 0,2618 \text{ ft}^2/\text{ft}$$

$$a_t' = 0,546 \text{ in}^2$$

5. Menghitung luas perpindahan panas (A)

$$A = \frac{Q}{U_D \cdot \Delta T} = \frac{465173,28}{120 \times 22,20} = 174,64 \text{ ft}^2$$

6 Menghitung jumlah pipa dan diameter shell

$$N_t = \frac{A}{L \cdot a''} = \frac{174,640}{12 \times 0,26} = 55,6$$

Dari tabel 9 hal 841-842 Kern dipilih *heat exchanger* dengan ketentuan :

| Shell | Tube |
|--------------|----------------------------|
| ID : 23 in | No. of Tube : 232 |
| B : 6 in | OD, BWG : 1 in 14 BWG |
| Pass : 1 | Pitch : 1,25 in triangular |
| | Pass : 2 |

7. Mengkoreksi harga U_D

Menghitung harga A terkoreksi

$$A \text{ terkoreksi} = N_t \times L \times a''$$

$$= 729 \text{ ft}^2$$

Menghitung harga U_D koreksi

$$U_{D \text{ koreksi}} = \frac{Q}{A_{\text{terkon}} \times \Delta t_{\text{mean}}}$$

$$= 35,5 \text{ Btu / (jam)(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F)}$$

8. Perhitungan T_{av} dan t_{av}

karena viskositas yang relatif kecil, $T_c = T_{av}$ dan $t_c = t_{av}$

$$T_c = T_{av} = \frac{131 + 113}{2} = 122 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$t_c = t_{av} = \frac{86 + 113}{2} = 99,5 \text{ }^\circ\text{F}$$

9. Perhitungan viskositas aliran panas

| Komp | A | B | C | D |
|--------------------------------|---------|--------|---------|----------|
| CH ₃ OH | -9,0562 | 1254,2 | 0,02238 | -2,4E-05 |
| CH ₂ O | -6,3673 | 658,48 | 0,01941 | -2,7E-05 |
| CH ₂ O ₂ | -4,2125 | 979,53 | 0,00555 | -5,8E-06 |

| | | | | |
|------------------|---------|--------|---------|----------|
| H ₂ O | -10,216 | 1792,5 | 0,01773 | -1,3E-05 |
|------------------|---------|--------|---------|----------|

Sumber : Yaws (1999)

Dimana μ = viskositas, μP

T = temperatur, K

$$\log_{10} n_{\text{liq}} = A + B/T + C T + C T^2$$

$$T_{\text{av}} = 50 \text{ } ^\circ\text{C} = 323 \text{ K}$$

| Komp | x_i | $\log \mu$ (cP) | μ (cP) | $\mu \cdot x_i$ |
|--------------------------------|---------------|-----------------|------------|-----------------|
| CH ₃ OH | 0,00454 | -0,3992149 | 0,40 | 0,0018 |
| CH ₂ O | 0,26121 | -0,903931 | 0,12 | 0,03259 |
| CH ₂ O ₂ | 0,00079 | 0,0111783 | 1,03 | 0,0008 |
| H ₂ O | 0,73346 | -0,257254 | 0,55 | 0,4056 |
| Total | 1,0000 | | | 0,4408 |

$$\mu = 0,4408 \text{ cP}$$

10. Perhitungan konduktivitas termal aliran panas

| Komp | A | B | C |
|--------------------------------|---------|---------|----------|
| CH ₃ OH | -1,1793 | 0,61910 | 5,1E+02 |
| CH ₂ O | 0 | 0 | 0 |
| CH ₂ O ₂ | -0,8626 | 0,3692 | 580 |
| H ₂ O | -0,2758 | 0,00461 | -5,5E-06 |

Sumber : Yaws (1999)

$$\log_{10} \lambda = (A + B \cdot [1 - T/C])$$

Dimana λ = gas thermal conductivity
W/m.K

T = temperatur, K

$$T_{av} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C} = 323 \text{ K}$$

| Komp | x_i | $\log \lambda$ | λ | $\lambda \cdot x_i$ |
|--------------------------------|---------------|----------------|-----------|---------------------|
| CH ₃ OH | 0,00454 | -1,16720 | 0,06805 | 0,00031 |
| CH ₂ O | 0,26121 | 0 | 0 | 0 |
| CH ₂ O ₂ | 0,00079 | -0,85224 | 0,14053 | 0,0001 |
| H ₂ O | 0,73346 | -0,27514 | 0,63605 | 0,466519 |
| Total | 1,0000 | | | 0,4669 |

$$\lambda = 0,27 \text{ Btu/(jam)}(\text{ft}^2)(^{\circ}\text{F/ft})$$

11. Perhitungan *specific heat* aliran panas

| Komp | A | B | C | D |
|--------------------------------|-------|---------|---------|----------|
| CH ₃ OH | 19 | 0,09152 | -1E-05 | -8,0E-09 |
| CH ₂ O | 61,9 | 0,0283 | | |
| CH ₂ O ₂ | 78,06 | 0,07154 | | |
| H ₂ O | 32,24 | 0,00192 | 1,1E-06 | 4,E-09 |

Sumber : Yaws (2014)

$$C_p = (A + BT + C T^2 + D T^3)$$

Dimana C_p = *specific heat* , J/gmol.K

T = temperatur, K

$$T_{av} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C} = 323 \text{ K}$$

| Komp | BM | x_i | C_p (J/gmol.K) | $c \cdot x_i$ (Btu/lb.F) |
|--------------------------------|----|---------------|------------------|--------------------------|
| CH ₃ OH | 32 | 0,00454 | 47,02 | 0,00159 |
| CH ₂ O | 30 | 0,26121 | 71,04 | 0,14783 |
| CH ₂ O ₂ | 46 | 0,00079 | 101,17 | 0,00042 |
| H ₂ O | 18 | 0,73346 | 33,09 | 0,32227 |
| Total | | 1,0000 | | 0,47211 |

$$c = 0,47211 \text{ Btu/lb.}^{\circ}\text{F}$$

*Hot fluid (shell) :
reactor product*

12. Flow area

Menghitung C'

$$\begin{aligned} C' &= P_T - OD \\ &= 1 - 1 \\ &= 0,25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_s &= \frac{ID \times C' \times B}{144 P_T} \\ &= \frac{23 \times 0,25 \times 6}{144 \times 1} \\ &= 0,19 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

13. Mass velocity

$$\begin{aligned} G_s &= \frac{W}{a_s} \\ &= \frac{19485}{0,1877} \\ &= 103814 \text{ lb/jam.ft}^2 \end{aligned}$$

Cold fluid (tube) : water

12. Flow area

$$\begin{aligned} a_t &= \frac{N_t \times a_t'}{144 n} \\ &= \frac{232 \times 1}{144 \times 2} \\ &= 0,44 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

13. Mass velocity

$$\begin{aligned} G_t &= \frac{W}{a_t} \\ &= \frac{3284,6}{0,4398} \\ &= 7467,8224 \text{ lb/jam.ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= \frac{G_t}{3600 \times \rho} \\ &= \frac{7467,822356}{3600 \times 62,5} \\ &= 0,03 \text{ fps} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 14. \text{ Pada } T_a &= 122 \text{ } ^\circ\text{F} \\
 &= 50 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 &= 323 \text{ } ^\circ\text{K}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan viskositas didapatkan

$$\begin{aligned}
 \mu &= 0,44 \text{ cP} \\
 &= 1,07 \text{ lb/ ft.jam}
 \end{aligned}$$

Dari Fig.28 Kern didapatkan

$$\begin{aligned}
 D_e &= \frac{0,72}{12} \\
 &= 0,06 \text{ ft} \\
 Re_s &= \frac{D_e G_s}{\mu} \\
 &= \frac{0,06 \times 103814}{1,06681} \\
 &= 5838,7246
 \end{aligned}$$

15. Dari Fig. 28 Kern didapatkan j_H

$$j_H = 42$$

$$\begin{aligned}
 16. \text{ Pada } T_a &= 122 \text{ } ^\circ\text{F} \\
 &= 50,0 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 &= 323,0 \text{ } ^\circ\text{K}
 \end{aligned}$$

specific heat
didapatkan

$$c = 0,47 \text{ Btu/lb.}^\circ\text{F}$$

$$\begin{aligned}
 14. \text{ Pada } t_a &= 99,5 \text{ } ^\circ\text{F} \\
 &= 38 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 &= 311 \text{ } ^\circ\text{K}
 \end{aligned}$$

Dari Fig.14 Kern didapatkan

$$\begin{aligned}
 \mu &= 0,70 \text{ cP} \\
 &= 1,69 \text{ lb/ ft.jam}
 \end{aligned}$$

Dari Tabel 10 Kern

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{0,83}{12} \\
 &= 0,07 \text{ ft} \\
 Re_t &= \frac{D G_t}{\mu} \\
 &= \frac{0,07 \times 7467,8}{1,69400} \\
 &= 306,3835
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan *thermal conductivity*

$$k = 0,2699$$

$$\text{Btu}/(\text{jam})(\text{ft}^2)(^\circ\text{F}/\text{ft})$$

$$\left(\frac{c \cdot \mu}{k}\right)^{1/3} = 1,23$$

$$17. \quad h_o = j_H \frac{k}{D_e} \left(\frac{c \cdot \mu}{k}\right)^{1/3} \phi_s$$

$$\frac{h_o}{\phi_s} = 42 \times \frac{0,27}{0,06} \times 1,2$$

$$\frac{h_o}{\phi_s} = 232,6 \text{ Btu}/\text{jam} \cdot \text{ft}^2$$

17. Dari Fig.25 Kern

$$\text{Correction factor} = 0,91$$

$$h_i = 1800 \times 0,91$$

$$= 1638 \text{ Btu}/\text{jam} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

$$h_{io} = h_i \times \frac{ID}{OD}$$

$$= 1638 \times \frac{0,83}{1}$$

$$= 1366 \text{ Btu}/\text{jam} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

18. *Tube-wall temperature*

$$t_w = t_c + \frac{h_o}{h_{io} + h_o} (T_c - t_c)$$

$$= 99,5 + \frac{233}{1599} (23)$$

$$= 102,77 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\text{Pada } t_w = 102,77 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Dari perhitungan viskositas didapatkan

$$\mu_w = 0,53398 \text{ cP}$$

$$= 1,292232 \text{ lb}/\text{ft} \cdot \text{jam}$$

Menghitung viskositas campuran liquid pada $t_w = 103^\circ$

$$T = 103^\circ\text{F} = 39^\circ\text{C} = 312\text{ K}$$

| Komp | x_i | $\log \mu$ (cP) | μ (μp) | $\mu \cdot x_i$ |
|--------------|---------------|-----------------|-------------------------|-----------------|
| CH3OH | 0,0045 | -0,35 | 0,45 | 0,002 |
| CH2O | 0,2612 | -0,86 | 0,14 | 0,036 |
| CH2O2 | 0,0008 | 0,09 | 1,24 | 0,001 |
| H2O | 0,7335 | -0,17 | 0,67 | 0,495 |
| Total | 1,0000 | | | 0,534 |

$$\mu = 0,53\text{ cP}$$

$$\begin{aligned}\phi_s &= \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \\ &= \left(\frac{1,07}{1,29} \right)^{0,14} \\ &= 0,97\end{aligned}$$

Corrected coefficient

$$\begin{aligned}h_o &= \frac{h_o}{\phi_s} \times \phi_a \\ &= 233 \times 0,97 \\ &= 226\text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F}\end{aligned}$$

11. Clean overall coefficient

$$\begin{aligned}U_c &= \frac{h_i \times h_o}{h_i + h_o} \\ &= \frac{1366 \times 226}{1366 + 226} \\ &= 194\text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F}\end{aligned}$$

12. Design overall coefficient

Diketahui *external surface* /ft, $a' = 0,2618 \text{ ft}^2/\text{ft}$

$$\begin{aligned} A &= N_t \times L \times a'' \\ &= 232 \times 12 \times 0,26 \\ &= 729 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_D &= \frac{Q}{A \times \Delta t} \\ &= \frac{465173,2767}{729 \times 17,98} \\ &= 35,5 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

13. Dirt factor

$$\begin{aligned} R_d &= \frac{U_c - U_D}{U_c \times U_D} \\ &= \frac{194 - 35,5}{194 \times 35,5} \\ &= 0,023 \text{ jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F/Btu} \end{aligned}$$

Ringkasan

| | | |
|----------------------|------------------|--------|
| 226 | <i>h outside</i> | 1366 |
| U_c | = | 194,24 |
| U_D | = | 35,50 |
| $R_{d \text{ calc}}$ | = | 0,0230 |
| $R_{d \text{ req}}$ | = | 0,0010 |

Pressure Drop

$$1. \text{ Re}_s = 5838,725$$

Dari Fig.29 Kern, didapatkan

$$f = 0,00230 \text{ ft}^2/\text{in}^2$$

Menghitung *specific gravity*

| Komp | x _i | s.g | sg.x _i |
|--------------------------------|----------------|-------|-------------------|
| CH ₃ OH | 0,0045 | 1,103 | 0,005 |
| CH ₂ O | 0,2612 | 1,034 | 0,270 |
| CH ₂ O ₂ | 0,0008 | 1,586 | 0,001 |
| H ₂ O | 0,7335 | 0,621 | 0,455 |
| Total | 1,000 | | 0,732 |

$$2. \text{ No. of crosses}$$

$$N + 1 = 12 \times \frac{L}{B}$$

$$N + 1 = 12 \times \frac{12}{6}$$

$$N + 1 = 25$$

$$D_s = \frac{ID}{12} = 2 \text{ ft}$$

$$3. \Delta P_s = \frac{f G_s^2 D_s (N+1)}{5.22 \times 10^{10} D_e s \phi_s}$$

$$1. \text{ Re}_t = 306,3835$$

Dari Fig.26 Kern, didapatkan

$$f = 0,002$$

$$s = 1$$

$$2. \Delta P_t = \frac{f G_t^2 L n}{5.22 \times 10^{10} D s \phi_t}$$

$$\Delta P_t = \frac{2676882}{3627900000}$$

$$= 0,001 \text{ psi}$$

$$3. G_t = 7467,8224$$

Dari Fig.27 Kern, didapatkan

$$\frac{V^2}{2g'} = 0,001$$

$$\Delta P_r = \frac{4 \times n}{s} \times \frac{V^2}{2g'}$$

$$\Delta P_s = \frac{1189816423}{2231094606} = 0,533 \text{ psi}$$

$$= \frac{4 \times 2}{1} \times 0,001 = 0,008 \text{ psi}$$

$$4. \Delta P_T = P_t + P_r = 0,001 + 0,01 = 0,01 \text{ psi}$$

Resume Spesifikasi *Cooler*

| Spesifikasi | Keterangan |
|------------------------|--|
| Kode Alat | : E-312 |
| Fungsi | : Mendinginkan produk absorber (E-312) |
| Jenis | : <i>Shell and tube</i> (1-2 HE) |
| Jumlah | : 1 |
| Bahan Konstruksi | : <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> |
| Luas Area | : 728,85 ft ² |
| Temperatur | |
| T ₁ | : 55 °C |
| T ₂ | : 45 °C |
| t ₁ | : 30 °C |
| t ₂ | : 45 °C |
| Tube | |
| OD, BWG | : 1 in 14 BWG |
| ID | : 0,83 in |
| <i>Length</i> | : 12 ft |
| Jumlah <i>tube</i> | : 232 |
| <i>Pitch</i> | : 1,25 in <i>triangular</i> |
| ΔP <i>tube</i> | : 0,01 psi |
| Shell | |
| ID <i>shell</i> | : 23,3 in |

ΔP_{shell} : 1 psi

Fouling factor : 0,0230 jam.ft².°F/Btu

11 Deionizer (D-320)

Fungsi : Menyerap/menghilangkan *fomic acid*

Tipe : Silinder tegak dengan tutup berbentuk standar dishe head

Bahan : 304 grade 3 (SA 167)

Kapasitas = 8838,43 kg/jam
= 19485,38 lb/jam

Viskositas air pada suhu 30 °C

9. Perhitungan viskositas aliran panas

| Komp | A | B | C | D |
|--------------------------------|--------|--------|---------|----------|
| CH ₃ OH | -9,056 | 1254,2 | 0,02238 | -2,4E-05 |
| CH ₂ O | -6,367 | 658,48 | 0,01941 | -2,7E-05 |
| CH ₂ O ₂ | -4,213 | 979,53 | 0,00555 | -5,8E-06 |
| H ₂ O | -10,22 | 1792,5 | 0,01773 | -1,3E-05 |

Sumber : Yaws (1999)

Dimana μ = viskositas, μP

T = temperatur, K

$$\log_{10} \mu_{\text{liq}} = A + B/T + C T + C T^2$$

$$T_{\text{av}} = 45 \text{ } ^\circ\text{C} = 318 \text{ K}$$

| Komp | x_i | $\log \mu \text{ (cP)}$ | $\mu \text{ (cP)}$ | $\mu \cdot x_i$ |
|--------------------------------|---------------|-------------------------|--------------------|-----------------|
| CH ₃ OH | ##### | -0,374638 | 0,42 | 0,0019 |
| CH ₂ O | ##### | -0,881518 | 0,13 | ##### |
| CH ₂ O ₂ | ##### | 0,049601 | 1,12 | 0,0009 |
| H ₂ O | ##### | -0,218165 | 0,61 | 0,4438 |
| Total | 1,0000 | | | 0,4809 |

$$\mu = 0,4809 \text{ cF} = 0,00032 \text{ lb/ft.s}$$

Densitas gas masuk

| Komponen | A | B | n | Tc |
|--------------------------------|---------|---------|---------|--------|
| CH ₃ OH | 0,27197 | 0,272 | 0,2331 | 175,47 |
| CH ₂ O | 0,26192 | 0,2224 | 0,2857 | 408 |
| CH ₂ O ₂ | 0,36821 | 0,24296 | 0,23663 | 580 |
| H ₂ O | 0,3471 | 0,274 | 0,28571 | 647,13 |

Cara menghitung densitas campuran:

$$\text{density} = A \cdot B^{(1 - T/T_c)^n}$$

Berdasarkan Yaws 1999

| Komponen | BM | xi | ρ (kg/m ³) | ρ campuran ($\rho \cdot x_i$) |
|--------------------------------|------------|----------------|-----------------------------|---|
| CH ₃ OH | 32 | 0,00421 | 210,707862 | 0,88602656 |
| CH ₂ O | 30 | 0,24194 | 286,436095 | 69,3006352 |
| CH ₂ O ₂ | 46 | 0,00073 | 427,093755 | 0,31220554 |
| H ₂ O | 18 | 0,14585 | 417,748606 | 60,9294697 |
| Total | 126 | 0,39273 | 1341,98632 | 131,428337 |

Densitas liquid campuran = 131,428 kg/m³

Rate volumetric = 67,249 m³/jam
 = 2374,88 ft³/jam
 = 0,65969 ft³/s

Digunakan resin penukar kation Sulfonated phenolic resin dengan spesifikasi resin:

- bulk density = 0,73 - 0,84 kg/L

- suhu operasi optimal = 50 - 90 °C
- kapasitas exchange = 2,9 eq/L wet resin
- Jumlah kation per jam = 0,8485 kg/jam BE Na⁺ = 23
- Waktu regenerasi = 30 hari
- Volume resin kation yang dibutuhkan = 722276,71 liter
= 25496,368 ft³

$$\begin{aligned}
 \text{Space velocity} &= 10 \text{ jam} \\
 \text{Tinggi bed minimal} &= 24 \text{ in} \\
 &= 2 \text{ ft} \\
 \text{Volume bed} &= \frac{\text{rate volumetrik}}{\text{space velocity}} \\
 &= \frac{2374,879809}{10} \\
 &= 237,488 \text{ ft}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang bed} &= \frac{\text{volume bed}}{\text{tinggi bed}} && 57,3093 \\
 &= \frac{237,48798}{2} && 7,57029 \\
 &= 118,74399 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang bed} &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\
 D &= 12,7978 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Menentukan Dimensi Tangki

Tangki berupa silinder tegak dengan tutup standar dished head

Dimensi tinggi silinder/ diameter bejana (Hs/l = 1,5

$$D = 12,7978 \text{ ft} = 153,6 \text{ in}$$

$$\begin{aligned}\text{Standar diameter OD} &= 156 \text{ in} = 3,962 \text{ m} \\ &(\text{Brownell \& Young, hal 90})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tinggi bagian silinder (H)} &= 1,5 \times \text{OD} \\ &= 1,5 \times 3,962 \\ &= 5,9436 \text{ m} = 19,4998 \text{ ft}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Menghitung bagian dished head (tutup atas dan bawah)} \\ \text{Tinggi tutup (Hd)} &= 0,169 \text{ OD} \\ &= 26,364 \text{ in} = 0,66965 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume silinde} &= \frac{1}{4} \pi \times D^2 \times H \\ &= \frac{1}{4} \pi \times D^2 \times 1,5 D \\ &= 0,25 \times 1,5 \times 3,14 \times D^3 \\ &= 1,18 \times 3,962^3 \\ &= 73,2548 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume tutup atas} &= 0,0847 \times D^3 \\ &= 0,0847 \times 3,962^3 \\ &= 5,26937 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume total} &= \text{volume silinder} + (2 \times \text{volume tutup atas}) \\ &= 73,2548 + (2 \times 5,26937) \\ &= 83,793494 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Menentukan Tekanan Design (Pd)

Tekanan operasi tangki sama dengan tekanan atmosfer ditambah dengan tekanan parsial bahan

$$\begin{aligned} P_{\text{bahan}} &= \rho_{\text{bahan}} \times g \times H_b \\ &= 785,163 \text{ N/m}^2 = 0,008 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_d &= 1,1 \times (P_{\text{bahan}} + 14,70) \\ &= 1,1 \times (0,008 + 14,7) \\ &= 16,18 \text{ psi} \\ &= 1,1 \text{ atm} \end{aligned}$$

Menentukan Ketebalan Silinder

$f = 17000$ (Brownell & Young)

$E = 0,8$ (Brownell & Young)

$c = 1/8$

$$\begin{aligned} t_{\text{silinder}} &= \frac{P_i \times OD}{2(f \cdot E + 0,4 P_i)} + c \\ &= \frac{1,1 \times 156}{2 (17000 \times 0,8 + 0,4 \times 1,1)} + 1/8 \\ &= 0,131 \text{ in} = \frac{2,101}{16} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal plate standar (diambi)} &= 3/16 \text{ in} \\ &= 0,005 \text{ m} \end{aligned}$$

$$OD = ID + 2 t_{\text{silinder}}$$

$$156 = ID + 2 \times 3/16$$

$$ID = 155,625 \text{ in} = 3,95288 \text{ m}$$

Menentukan Dimensi Tutup Atas dan Bawah

$$OD = 156$$

$$r = 144$$

$$icr = 9 \frac{3}{8}$$

$$t_{head} = \frac{0,885 \times P_i \times r}{2 (f \cdot E - 0,1 P_i)} + c$$

$$t_{head} = \frac{0,885 \times 1,1 \times 144}{2 (17000 \times 0,8 + 0,1 \times 1,1)} + \frac{1}{8}$$

$$t_{head} = 0,13 \text{ in} = \frac{2,082}{16} \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal dish head standar (diamb} &= 3/16 \text{ in} \\ &= 0,005 \text{ m} \end{aligned}$$

$$sf = 2 \text{ in} = 0,051 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi Bejana} &= (H_s) + (2 \times H_d) + (2 \times s) \\ &= 7,384 \text{ m} \end{aligned}$$

Perhitungan diameter Nozzle

Asumsi diameter nozzle inlet dan outlet sama

Menghitung diameter nozzle :

Asumsi aliran turbulen

$$\begin{aligned} Di, \text{ opt} &= 3,9 \times Q_f^{0,45} \times \rho^{0,13} \\ &= 3,9 \times 0,829 \times 1,886 \\ &= 6,09813 \text{ in} \\ &= 0,50797 \text{ ft} \end{aligned}$$

(Timmerhause, hal 496)

Ditetapkan diameter nominal : 2 1/2 in sch 80

$$\begin{aligned} \text{didapat : } OD &= 2,875 \text{ in} \\ ID &= 2,323 \text{ in} \end{aligned}$$

$$= 0,194 \text{ ft}$$

$$A = 0,0294 \text{ ft}^2$$

Cek jenis aliran :

$$\text{kecepatan aliran (v)} = \frac{Q}{A} = \frac{0,65969}{0,0294}$$

$$= 22,4384 \text{ ft/s}$$

$$\text{Nre} = \frac{r.D.v}{m}$$

$$= 1945314,3$$

Nre > 2100, maka asumsi awal bahwa aliran turbulen benar sehingga ukuran pipa keluar pompa dipilih 2 1/2 in sch 80

Riwayat Penulis



Natijatul Habibah, penulis dilahirkan di Lamongan pada tanggal 25 Februari 1996. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu lulus dari TK Kencana Putra tahun 2002, lulus dari SDN Deket Wetan II pada tahun 2008, lulus dari SMP Negeri I Deket pada tahun 2011 dan lulus dari SMA Negeri II Lamongan pada tahun 2014. Setelah lulus SMA, penulis diterima di Program Studi Diploma III Teknik Kimia FTI-ITS dengan nomor registrasi 2314 030 077. Selama kuliah penulis aktif berorganisasi sebagai Staff Bidang Keprofesian dan Keilmiahan Mahasiswa DIII Teknik Kimia FTI-ITS (2015-2016) dan Ketua Divisi keprofesian Bidang Keprofesian dan Keilmiahan Mahasiswa DIII Teknik Kimia FTI-ITS (2016-2017), serta mengikuti beberapa pelatihan dan seminar yang diadakandi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Penulis pernah melaksanakan kerja praktik di PT. Trans Pacific Petrochemical Indotama, Tuban.

E-mail : natijatul.habibah@gmail.com

Riwayat Penulis



Umi Rahmawati, penulis dilahirkan di Lamongan pada tanggal 01 April 1996. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu lulus dari TK Mekar Mulya tahun 2002, lulus dari SDN Sidomulyo II pada tahun 2008, lulus dari SMP Negeri II Lamongan pada tahun 2011 dan lulus dari SMA Negeri II Lamongan pada tahun 2014. Setelah lulus SMA, penulis diterima di Program Studi Diploma III Teknik Kimia FTI-ITS dengan nomor registrasi 2314 030 088. Selama kuliah penulis aktif berorganisasi sebagai Staff Bidang Dalam Negeri Mahasiswa DIII Teknik Kimia FTI-ITS (2015-2016 dan 2016-2017) serta mengikuti beberapa pelatihan dan seminar yang diadakan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Penulis pernah melaksanakan kerja praktik di Pabrik Gula Gempolkrep, Mojokerto.

E-mail : umirahmawati35@gmail.com